

004.35  
И52

Б.З. Пириашвили, М.М. Ворончук,  
Е.И. Галиновский,  
Б.П. Чиркин, О.И. Щепец

---

# ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЭНЕРГЕТИКЕ

---

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ  
СОВЕТ ПО ИЗУЧЕНИЮ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ СИЛ УКРАИНЫ

Б.З. ПИРИАШВИЛИ  
М.М. ВОРОНЧУК  
Е.И. ГАЛИНОВСКИЙ  
Б.П. ЧИРКИН  
О.И. ЩЕПЕЦ

---

# ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЭНЕРГЕТИКЕ

---

*Под редакцией  
члена-корреспондента НАН Украины,  
доктора экономических наук,  
профессора Б.М. ДАНИЛИШИНА*

КИЕВ НАУКОВА ДУМКА 2008

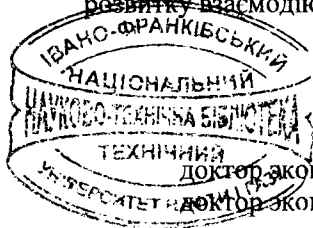
УДК 338.45: 620.9 (477)

В монографии рассмотрены методы и модели анализа и прогнозирования перспектив развития энергетики в Украине. Разработаны методические подходы и модели имитационного моделирования процессов относительно обоснования перспективного развития энергетики в соответствии с темпами и пропорциями социально-экономического развития страны.

Для специалистов, которые занимаются прогнозированием сбалансированного развития взаимодействующих секторов экономики и энергетики.

У монографії розглянуто методи і моделі аналізу та прогнозування перспектив розвитку енергетики в Україні. Розроблено методичні підходи і моделі імітаційного моделювання процесів щодо обґрунтування перспективного розвитку енергетики відповідно до темпів і пропорцій соціально-економічного розвитку країни.

Для фахівців, які займаються прогнозуванням збалансованого розвитку взаємодіючих секторів економіки та енергетики.



#### Рецензенты

доктор экономических наук, профессор *И.В. Недзи*  
доктор экономических наук, профессор *И.К. Быстряков*  
доктор экономических наук, профессор *В.Ф. Столяров*

*Рекомендовано к печати ученым советом Совета по изучению производительных сил Украины НАН Украины*

Научно-издательский отдел физико-математической и технической литературы

ISBN 978-966-00-0738-3

© Б.З. Пириашвили, М.М. Ворончук,  
Е.И. Галиновский, Б. П. Чиркин,  
О.И.Щепец, 2008

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>7</b>
-----------------------	----------

## Г Л А В А 1

<b>КРАТКАЯ ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ</b>	<b>11</b>
---	-----------

## Г Л А В А 2

<b>ОСНОВНЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗА СЛОЖНЫХ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ</b>	<b>15</b>
---	-----------

- |  |    |
|--|----|
| 2.1. Общая характеристика и классификация математических методов имитационного моделирования и прогноза развития сложных процессов и систем..... | 15 |
| 2.2. Экспертное прогнозирование и основные виды экспертных прогнозов .....   | 18 |
| 2.3. Расчетно-аналитические модели и прогнозы .....  | 21 |

## Г Л А В А 3

<b>ОСНОВНЫЕ ВЕХИ КОМПЬЮТЕРНОГО ЭТАПА РАЗВИТИЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ</b>	<b>94</b>
---	-----------

## Г Л А В А 4

<b>ОСНОВНЫЕ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИМИТАЦИОННОГО КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ (ИКМ)</b>	<b>101</b>
--	------------

## Г Л А В А 5

### **ВОЗМОЖНОСТИ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИМИТАЦИОННОГО КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ АНАЛИЗА, ПРОГНОЗА И УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ПРОЦЕССАМИ И СИСТЕМАМИ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

- |  |     |
|--|-----|
|  | 118 |
| 5.1 ТЭК как сложная система, являющаяся одновременно подсистемой энерго-экономической и природно-экологической систем Украины и мира .....   | 118 |
| 5.2. Возможности использования существующих и необходимость разработки новых средств имитационного компьютерного моделирования для решения проблем анализа, прогноза и управления сложными процессами и системами в энергетике ..... | 128 |
| 5.3. Основы матрично-структурного подхода к разработке общей методологии описания сложных процессов и систем и созданию их имитационных компьютерных моделей .....   | 130 |
| 5.4. Методология использования матрично-структурного подхода при решении задач имитационного компьютерного моделирования сложных процессов и систем в энергетике ..  | 151 |

## Г Л А В А 6

### **ИСХОДНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ИМИТАЦИОННОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ И ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ЭНЕРГЕТИКИ КАК БОЛЬШОЙ СИСТЕМЫ**

- |   |     |
|---|-----|
|   | 159 |
| 6.1. Энергетика как объект имитационного моделирования .....                                      | 159 |
| 6.2. Энергетика страны – определяющий фактор ее энергообеспечения .....                           | 170 |
| 6.3. Основные проблемы в энергообеспечении страны .....   | 185 |
| 6.4. Концепция имитационного моделирования и прогнозирования энергетики как большой системы ..... | 204 |

## **Г Л А В А 7**

### **АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНОГО РАЗВИТИЯ ТЭК В СООТВЕТСТВИИ С СОЦИАЛЬНО- ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДИНАМИКОЙ**

210

- 7.1. Логико-функциональная схема анализа и прогнозирования перспективного развития ТЭК как ключевого сектора экономики ..... 210
- 7.2. Межотраслевой баланс формирования и распределения продукции (услуг) как методологическая основа прогнозирования макроэкономических показателей ..... 215
- 7.3. Методические положения определения на перспективу макроэкономических показателей по динамике прогностических факторов ..... 219

## **Г Л А В А 8**

### **ПОТЕНЦИАЛ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В КОНТЕКСТЕ ОЦЕНКИ СПРОСА НА ЭНЕРГОНОСИТЕЛИ**

227

- 8.1. Основные направления энергосбережения..... 227
- 8.2. Оценка экономии топливно-энергетических ресурсов в разрезе секторов и отраслей экономики..... 231

## **Г Л А В А 9**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОСТИ ЭКОНОМИКИ, СОЦИАЛЬНОЙ СФЕРЫ И НАСЕЛЕНИЯ В ТЭР НА ПЕРСПЕКТИВУ**

235

- 9.1. Основные факторы определения потребности в ТЭР..... 235
- 9.2. Сценарии определения ожидаемой потребности в топливно-энергетических ресурсах на перспективу..... 239
- 9.3. Определение потребности экономики, социальной сферы и население в ТЭР на перспективу..... 240

## **Г Л А В А 10**

<b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОЖИДАЕМЫХ В ПЕРСПЕКТИВЕ МАСШТАБОВ СОБСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА (ДОБЫЧИ, ГЕНЕРАЦИИ) ТЭР</b>	254
--	-----

## **Г Л А В А 11**

<b>РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТОПЛИВНО- ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ БАЛАНСОВ</b>	257
11.1. Основные исходные положения по разработке энергетических балансов, формирование отдельных их статей и формы представления результатов .....	257
11.2. Схема комплексного определения основных показателей перспективных ТЭБ .....	264
11.3. Разработка сводного топливно-энергетического баланса и балансов по видам ТЭР .....	268

## **Г Л А В А 12**

<b>ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ ТЭК НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ</b>	276
<b>ВЫВОДЫ</b> .....	288
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ</b> .....	291
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	298

---

## ВВЕДЕНИЕ

---

Топливо-энергетический комплекс (ТЭК) Украины, как и любая его региональная или отраслевая подсистема, является организационно сложной производственно-технологической и эколого-экономической системой, многочисленные объекты которой рассредоточены в географическом пространстве. Они функционируют в непрерывно меняющихся условиях внешней среды и связаны между собой, с компонентами этой среды и сосуществующими в ней другими сложными системами многими физическими и информационными связями. Особую роль в формировании системной сложности ТЭК играют множественность, разветвленность и лаговость (запаздываемость) этих связей, а также образование их замкнутыми цепочками большого количества контуров обратных связей, которые являются основным источником возникновения нелинейностей в динамике параметров состояния ТЭК и трудностей анализа и прогноза этой динамики.

Лаговость в функционировании ТЭК, как сложной системы, проявляется в том, что передача в нем непосредственных и опосредованных воздействий по цепям прямых и обратных связей осуществляется не мгновенно, а с достаточно большим запаздыванием (от нескольких недель и месяцев до 1–3 лет). Это обусловлено, во-первых, опережающим ростом целевых плановых установок в сравнении с реальными ресурсными возможностями экономической системы; во-вторых, существенной инерционностью многих процессов в экономике, в том числе и в топливно-энергетическом комплексе; в-третьих, значительными затратами времени как на осмысление необходимости принятия решений относительно реорганизации и дальнейшего развития отрасли в соответствии с новыми экономическими условиями, так и на выполнение этих решений.

Системная сложность ТЭК обуславливается также длительностью его исторического существования и принадлежностью к классу систем, которые растут и саморазвиваются как компоненты других саморазвивающихся систем (украинской и мировой экономики), что во многом определяет изменчивость (нестационарность) целей и



направленности развития ТЭК, состава, структуры и свойств его компонент, а также особенностей проявления связей между ними.

Длительность и саморазвивающийся характер существования ТЭК, различных связанных с ним внешних систем и включающих их в себя экономических и естественных надсистем приводят как к постепенной эволюционности, так и к эпизодическим корректировкам и изменениям целей развития украинской экономики, а значит, и к соответствующим изменениям правил поведения и взаимодействия компонент всех этих систем и взаимосвязей их параметров. Наиболее интенсивно такие изменения проявляются в переходные периоды, в частности, при переходе экономики Украины к рыночным отношениям, что значительно усугубляет неопределенность состояния и развития большинства ее компонент (в том числе и ТЭК) даже в ближайшем будущем. Становление рыночных условий хозяйствования требует учета изменения спроса на услуги и продукцию энергетического сектора в зависимости от динамики развития реального сектора экономики, перспектив социальной сферы и задач относительно уровня обеспечения населения энергоносителями. От этого сектора экономики в значительной мере зависит решение других важных задач, в том числе оздоровление природной среды, энергетическая и экономическая безопасность государства. Комплексное решение всех этих взаимосвязанных задач может быть получено лишь на основе использования современной методологии системного моделирования, прогноза и оценки альтернативных сценариев совместного развития экономики, социальной сферы и повышения уровня жизни населения в планируемом будущем согласно темпам и пропорциям социально-экономического развития страны.

В данной книге изложен обзор существующих и представлены результаты разработки новых средств и методов анализа, моделирования и прогноза сложных систем для решения задач планирования и управления развитием энергетики, как основы успешного социально-экономического развития Украины.

Книга состоит из 11 глав, первые пять из которых посвящены как обзору наиболее распространенных математических методов имитационного моделирования и прогноза динамики параметров сложных энерго-экономических систем, так и особенностям их практического использования. В частности, в первой и второй главах излагается краткая история развития методов и средств имитационного моделирования, дается классификация этих методов, приводятся многочисленные математические модели описания и прогноза динамики

как отдельных параметров состояния сложных систем, так и организованных совокупностей таких параметров, связанных между собой различными балансовыми и функциональными соотношениями.

В третьей и четвертой главах освещаются основные вехи компьютерного этапа развития имитационного моделирования и обсуждаются различные методологические подходы к разработке современных технологий его использования.

Пятая глава посвящена изложению основ нового матрично-структурного подхода к разработке имитационных компьютерных моделей сложных процессов и систем, который может найти широкое практическое использование как в энергетике, так и во многих других отраслях.

Главы 6–11 книги посвящены проблеме имитационного моделирования ТЭК, направленного на прогнозирование его развития в тесной связи с перспективой социально-экономического развития Украины.

В шестой главе ТЭК рассматривается как большая и сложная многокомпонентная система, излагается концепция его имитационного моделирования.

В седьмой главе рассматриваются вопросы анализа и прогнозирования перспективного развития ТЭК в соответствии с альтернативами социально-экономической динамики на основе использования межотраслевого баланса формирования и распределения производимой продукции и оказываемых услуг.

Восьмая глава посвящена вопросам оценки потенциала энергосбережения и экономии топливно-энергетических ресурсов в разрезе секторов и отраслей экономики.

В девятой главе изложены методические вопросы определения потребности экономики, социальной сферы и населения в топливно-энергетических ресурсах для различных сценариев и перспектив экономического развития.

Десятая глава посвящена определению ожидаемых в перспективе масштабов собственного производства (добычи и генерации) в Украине топливно-энергетических ресурсов (ТЭР).

В одиннадцатой главе рассматривается разработка перспективных топливно-энергетических балансов (ТЭБ). Формирование системы ТЭБ является заключительным этапом имитационного моделирования энергетики. Спрос на энергетические ресурсы учитывает технически возможные и экономически оправданные масштабы экономии ТЭР. Оценки реальности энергообеспечения принятого сценария

социально-экономического развития базируются на анализе состояния и прогнозах альтернатив развития потенциала по добыче (производству) топливно-энергетических ресурсов в рассматриваемой перспективе при приемлемых объемах их импорта и диверсификации источников и видов топлива и энергии.

Комплексные циклы расчетов формирования ТЭБ продолжаются до получения такого варианта энергообеспечения экономики и социальной сферы, при котором достигается рациональная энергоемкость ВВП в натуральном или стоимостном выражении, соблюдаются реально возможные ограничения по уровню экологической нагрузки предприятий энергетики и обеспечивается рост энергетической безопасности страны.

В двенадцатой главе приводятся основные положения по оценке влияния ТЭК на окружающую среду и на основе предложенных простых расчетно-аналитических моделей даны прогнозные оценки выбросов в атмосферу пыли, оксидов серы и углекислого газа для различных сценариев развития украинской энергетики на период до 2030 года.

Изложенные в книге материалы являются результатом исследований сотрудников отдела ТЭК Совета по изучению производительных сил Украины НАН Украины.

В общетеоретической части книги главы 1 и 2 написаны Ворончуком М.М. и Щепец О.И., главы 3 и 4 – Ворончуком М.М. и Пириашвили Б.З., глава 5 – Ворончуком М.М.

Разделы книги, которые можно отнести к ее научно-прикладной части, написаны: главы 6,9,10,11 – Пириашвили Б.З., Чиркиным Б.П., Галиновским Е.И. (с включением в главу 6 материалов Дубовика В.С. по тепловой энергетике); глава 7 – Чиркиным Б.П. (с использованием материалов Гнедого Н.В.) глава 12 – Ворончуком М.М. Пириашвили Б.З. и Щепец О.И.

Авторы благодарят сотрудников отдела ТЭК Куранду В.Н., Овчинникову В.П., Софину Е.Г. и Щулипенко В.Е. за выполненную ими большую и кропотливую работу по подготовке текста, таблиц и рисунков.

## ГЛАВА 1

---

# КРАТКАЯ ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

---

Имитационное моделирование как сфера практической и научной деятельности имеет длинную историю [1,2], рассматривать которую целесообразно, исходя из сущности понятий "модель" и "моделирование".

Термин "модель" происходит от латинского слова "modulus", т. е. образец, устройство, эталон, и в широком понимании означает *любой аналог* (физический, мысленный или условный – изображаемый рисунком, схемой или структурированной последовательностью абстрактных символов) некоторого объекта, системы, процесса или явления, который при определенных условиях можно использовать в качестве заменителя представляемого им оригинала. Осуществление такого использования модели принято называть *имитацией* или *моделированием*, которое представляет собой воспроизведение определенным образом свойств оригинала, его действий либо происходящих с ним событий, явлений или процессов. Ввиду тесной смысловой близости понятий "имитация" и "моделирование" словосочетание *имитационное моделирование* является не совсем корректным, однако, сложившись и войдя в практику исторически, оно стало де-факто общепринятым и широко используется при моделировании результатов и воспроизведении во времени происходящих с оригиналом событий или протекающих в нем процессов.

Следует отметить, что имитационное моделирование как вид человеческой деятельности имеет не только глубокие исторические корни, но и определенную биологическую основу в эволюционном процессе развития биосферы. В качестве примера использования имитационного моделирования на организменном уровне можно привести такое явление, как *мимикрия*, широко распространенная среди животных, растений, насекомых, рыб, простейших и даже микроорганизмов. У последних это явление обнаружено в виде так

называемой антигенной мимикрии микробов [3], которая проявляется в том, что за счет производства ими общих с организмом хозяина антигенов или близких к ним по строению веществ эти микробы не распознаются содержащим их организмом и таким образом препятствуют выработке против себя убивающих их антител.

В мире макроорганизмов мимикрия реализуется преимущественно в виде имитации формы, окраски или поведения. В первых двух случаях она проявляется либо в приобретении телом организма маскирующей формы или окраски под фон окружающей их среды, либо в приобретении им привлекающей формы или окраски, способствующей приманиванию жертв или особей противоположного пола, либо в принятии отпугивающей формы и окраски для отпугивания и предотвращения нападений хищников. Таким образом, мимикрия поведения организмов заключается в имитации ими отдельных актов поведения других организмов в целях использования их полезных свойств или для привлечения потенциальных жертв, или для отпугивания хищников.

Все это свидетельствует о том, что в процессе эволюции параллельно с возникновением мимикрии, шел естественный отбор и совершенствование различных форм ее проявления от обычной маскировки до целенаправленного имитирующего поведения сначала у животных, а затем и у произошедшего от них человека. Таким образом, в историческом плане имитационное моделирование можно считать следствием возникновения и результатом эволюционного развития биосферы и человека – самопознающего интеллектуального компонента современной ноосферы.

В человеческой жизни и в социуме имитация как самостоятельный и важный вид деятельности издавна широко использовалась при охоте и рыбалке (для незаметного приближения к добыче и привлечения ее имитирующими естественную природу звуками, запахами или макетами живых объектов); в военном деле – для маскировки, при использовании макетов целей, при проведении имитирующих военные действия отвлекающих маневров, при доведении до противника вводящей в заблуждение информации и т.д.; в строительстве, промышленности и технике – при создании макетов и действующих моделей новых объектов; в сфере планирования и управления – для создания имитационных расчетно-аналитических и компьютерных моделей экономики, ее отдельных

отраслей, подотраслей, крупных корпораций, фирм и отдельных производств.

Имитационное моделирование как наука формировалось главным образом в процессе создания математических и прогнозно-аналитических моделей различных физических, технических, природно-экологических и экономических объектов и систем в течение XIX–XX вв., хотя в общепризнанную сферу научной деятельности оно выделилось лишь в середине 50-х гг. прошлого века.

К имитационному моделированию как научно-прикладному исследованию в широком смысле этого понятия можно отнести разработку моделей любой природы, представляющих в доступной для понимания форме или имитирующих какие-либо свойства или особенности поведения моделируемого оригинала (системы или процесса). В последние годы понятие имитационного моделирования несколько сузилось и конкретизировалось – к нему стали относить создание преимущественно компьютерных моделей поведенческого типа, позволяющих проигрывать во времени различные реально происходящие с моделируемой системой или потенциально возможные события и процессы с целью их анализа и выработки решений по управлению ее функционированием или развитием.

Далее будем рассматривать возможности использования имитационного моделирования для решения проблем анализа, прогноза и управления сложными системами и процессами в энергетике в контексте широкого смысла этого понятия, но применительно лишь к математическим и компьютерным методам и средствам его реализации.

В историческом плане в процессе развития методов и средств математического моделирования и прогнозирования сложных процессов и систем в различных сферах человеческой деятельности можно выделить два качественно различных этапа: **докомпьютерный** и **компьютерный**. На докомпьютерном этапе (с середины XIX до середины XX в.) велась разработка методов и средств математического описания, расчета и удобных для анализа форм наглядного табличного и графического представления результатов моделирования сложных процессов и систем различной природы. При этом в большинстве случаев все расчеты выполнялись крайне медленно либо вручную или с помощью простейших вспомогательных средств (таблиц, номограмм, логарифмических линеек), либо посредством сложных, но также медленных

технических (механических, электрических и других) дискретных и аналоговых вычислительных устройств.

На компьютерном этапе (с конца 50-х гг. XX в. и до настоящего времени) в связи с появлением быстродействующих электронных вычислительных машин и последующим широким распространением персональных компьютеров разработка методов и средств имитационного моделирования резко интенсифицировалась сначала за счет использования универсальных и специализированных языков программирования, а затем – универсальных пакетов математического моделирования и разработки специальных программных средств для моделирования сложных процессов и систем разного типа. В настоящее время это ускоренное развитие и расширение сфер использования методов имитационного моделирования продолжается за счет разработки и внедрения специальных программных моделирующих компьютерных сред, а также Web-сред имитационного моделирования и обеспечения их интерактивного взаимодействия с коллективами осуществляющих это моделирование экспертов и лиц, принимающих ответственные решения.

Подробное описание компьютерного этапа развития средств имитационного моделирования можно найти в посвященных этой теме монографиях [4,5,6], учебниках [7,8,9], научных статьях и трудах специальных конференций [10], а также на тематических сайтах и форумах в Интернете.

В заключение отметим, что независимо от совершенствования компьютерной техники и программного обеспечения, привлекаемых для решения задач моделирования и прогноза развития сложных процессов и систем, его концептуальной и алгоритмической основой являются и всегда будут оставаться математические методы и средства имитационного моделирования. Общий обзор наиболее распространенных из этих методов приведен в следующей главе.

# ОСНОВНЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗА СЛОЖНЫХ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ

---

### 2.1. Общая характеристика и классификация математических методов имитационного моделирования и прогноза развития сложных процессов и систем

Имитационное моделирование и прогнозирование являются одной из ответственных сфер практической деятельности и научно-прикладных исследований, в которых используется широкий спектр концептуальных подходов и математических методов. По разным признакам классификации создаваемые на базе этих подходов методы имитационного моделирования и прогноза образуют множество различных видов [7,8,9]. В данном обзоре мы ограничимся рассмотрением только тех методов и моделей, которые различаются по следующим основным признакам:

- *по процедуре создания* – экспертные и расчетно-аналитические;
- *по целевой направленности* – ситуационные и параметрические;
- *по типу прогностического утверждения* – категоричные и условные;
- *по форме представления* – детерминированные и вероятностные.

**Экспертные модели и прогнозы** создаются на основе использования построенных отдельными квалифицированными экспертами или их группами различных концептуальных представлений о сущности и закономерностях исследуемых процессов или систем, а также статистической обработки полученных этими экспертами численных результатов о динамике параметров состояния исследуемых объектов и возможных особенностях их изменения во времени и пространстве в прошлом, настоящем и будущем.

**Расчетно-аналитические модели и прогнозы** базируются на использовании либо формальных (абстрактных), либо формализованных (содержательно интерпретируемых), либо каузальных



(феноменологических) моделей. Разрабатываемые в рамках этих методов **формальные математические модели** представляют собой абстрактные математические выражения, каузально (причинно) никак не обоснованные и содержательно не интерпретируемые, но обеспечивающие формальное внешнее сходство различных особенностей и характеристик поведения модели и представляемого ею объекта. В отличие от формальных, **формализованные математические модели**, также не являясь причинно обусловленными, поддаются конкретной содержательной интерпретации, что существенно облегчает понимание, повышает убежденность в правильности и уверенность в эффективности их практического использования. Наиболее обоснованными и эффективными являются **каузальные (феноменологические) математические модели и прогнозы**, строящиеся на математическом описании хорошо известных или выявляемых в процессе исследования моделируемого объекта законов, закономерностей и причинно-следственных связей в его устройстве, функционировании и особенностях развития и взаимодействия с другими объектами и внешней средой. При реальном моделировании и прогнозировании сложных процессов и систем наряду с каузальными моделями часто приходится совместно использовать и экспертные, и различные варианты расчетно-аналитических моделей.

*Ситуационные модели и прогнозы* направлены на описание последовательностей или сценариев реализации прошлых, настоящих или возможных будущих событий или явлений в исследуемом объекте, а *параметрические* – на определение числовых значений и характеристик динамики важных для принятия деловых решений параметров состояния этого объекта (процесса или системы).

*Категоричные (безальтернативные) модели и прогнозы* допускают только одно возможное значение прогнозируемого параметра, только одно конкретное будущее событие или однозначное утверждение о том свершится оно или нет, или только один возможный сценарий развития (определенная последовательность реализации) таких событий. В отличие от категоричных, *условные (альтернативные) модели и прогнозы* допускают несколько возможных значений прогнозных параметров или несколько (обычно конечное число) возможных событий или сценариев их развития. Назначение альтернативных прогнозов – конкретизация и максимальное уменьшение иногда богатого потенциального разнообразия возможных вариантов будущего для облегчения объективного выбора однозначного прогнозного решения относительно этого будущего.

Результатом реализации перечисленных выше видов моделей могут быть либо детерминированные, либо вероятностные утверждения и прогнозы о динамике свойств, функционировании, поведении или развитии моделируемого объекта (процесса или системы).

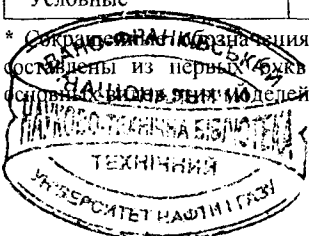
К **детерминированным** относятся однозначные утверждения либо о свершении в прошлом, настоящем или будущем определенных конкретных событий или их последовательностей (сценариев), либо о реализации предварительно рассчитанных конкретных значений параметров состояния моделируемого объекта с оценкой численных характеристик их возможных отклонений от этих значений. К **вероятностным** относятся либо многозначные утверждения и прогнозы о возможных событиях или сценариях поведения моделируемого объекта с оценкой вероятностей их действительной реализации, либо вероятностные оценки возможных числовых значений параметров состояния этого объекта в виде функций распределения этих значений в определенном числовом диапазоне. Такие функции распределения могут задаваться также в виде набора вероятностей попадания параметров состояния объекта в определенные интервалы их значений или в виде наименования типа функции распределения с определенным набором статистически найденных численных значений его параметров.

Таблица 2.1

Классификационная таблица основных видов имитационных моделей и прогнозов сложных процессов и систем\*

Виды моделей и прогнозов	Ситуационные		Параметрические	
	Детерминированные	Вероятностные	Детерминированные	Вероятностные
<i>Экспертные</i>				
Категоричные	ЭСКД	ЭСКВ	ЭПКД	ЭПКВ
Условные	ЭСУД	ЭСУВ	ЭПУД	ЭПУВ
<i>Расчетно-аналитические</i>				
Категоричные	РСКД	РСКВ	РПКД	РПКВ
Условные	РСУД	РСУВ	РПУД	РПУВ

\* Сокращения, приведенные в таблице, являются названиями отдельных разновидностей моделей и прогнозов, составлены из первых букв наименований используемых для их разработки основных элементов моделей и прогнозов.



Различные сочетания четырех приведенных выше классификационных признаков создают 16 видов моделей и прогнозов (табл.2.1), в рамках которых ниже и будут рассматриваться основные методы имитационного математического моделирования и прогнозирования сложных процессов и систем. При этом будем иметь в виду, что большая часть прогнозов по таким моделям строится на основе гипотезы инерционности, то есть на предположении, что в будущем будут действовать либо те же самые закономерности, которые длительно действовали и в прошлом, либо продолжат свое развитие новые тенденции, которые только начали заметно проявлять себя в настоящем.

Рассмотрим кратко сущность и особенности основных приведенных в табл. 2.1 видов прогнозов сложных процессов и систем, разрабатываемых на основе использования представляющих их имитационных моделей.

## 2.2. Экспертное прогнозирование и основные виды экспертных прогнозов

Суть экспертного прогнозирования заключается в том, что прогнозное решение принимается на основе использования конечного набора из ряда альтернативных вариантов прогнозов  $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_k$ , разработанных разными экспертами  $k$ . При этом, кроме сущности самих альтернативных прогнозов учитывается и степень квалификации (квалификационный ранг  $r$ ) их авторов – прогнозных экспертов  $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \dots, \mathcal{E}_k$ .

*Ситуационные экспертные прогнозы* состоят в предвидении осуществления каких-либо событий (событийные прогнозы) или их определенных последовательностей (сценарные прогнозы), а *параметрические* – в присвоении экономическим или другим важным для принятия деловых решений прогнозируемым показателям конкретных прогнозных числовых значений. При вероятностной форме представления прогнозов каждому альтернативному варианту  $\Pi_i$  прогноза ставится в соответствие определенная вероятность  $P_i$  его реализации, причем все эти вероятности должны удовлетворять очевидному условию  $P_1 + P_2 + \dots + P_i + \dots + P_N = 1$ . В общем случае для получения отдельных форм окончательного экспертного прогноза  $\Pi_{ок}$  по имеющимся  $N$  экспертным прогнозам  $\Pi_i$

при известных или экспертно заданных вероятностях  $P_i$  реализации каждого из них и при определенных квалификационных рангах  $r_i$  их авторов используются следующие основные средства (расчетные формулы).

*Фаворитный прогноз*  $\Pi_{\Phi}$  – принятие в качестве окончательного событийного прогноза  $\Pi_i = C_i$  того эксперта  $\Xi_i$ , который имеет наивысший квалификационный ранг  $r_i$

$$\Pi_{\text{ок}} = \Pi_{\Phi} = \Pi_i = C_i, \text{ если } r_i = \max(r_1, r_2, \dots, r_N) \quad (2.1)$$

Если требуется принять решение по выбору одного из  $M$  возможных альтернативных событийных прогнозов  $C_1, C_2, \dots, C_j, \dots, C_M$ , а квалификационные ранги  $r_i$  ни одного из  $N$  экспертов не заданы, то всем им предлагается индивидуально оценить вероятности  $P_{ij}$  (табл. 2.2) реализации каждого из таких событий, чтобы затем по результатам этих оценок можно было рассчитать окончательные вероятности  $P_j^{\text{ок}}$  реализации каждого события.

Эти окончательные вероятности, рассчитываемые по формуле

$$P_j^{\text{ок}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_{ij} \quad (2.2)$$

размещены в верхней части нижней итоговой строки табл. 2.2, а в нижней части этой строки размещены окончательные приоритетные веса  $G_j^{\text{ок}}$  рассматриваемых событийных прогнозов  $C_j$ , рассчитываемые по формуле

$$G_j^{\text{ок}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^N r_i} * \sum_{i=1}^N r_i P_{ij} \quad (2.3)$$

для случая известных квалификационных рангов  $r_i$ , участвующих в прогнозе экспертов. Окончательный экспертный прогноз  $\Pi_{\text{ок}} = C_j$ , принимаемый по максимальной вероятности  $P_j^{\text{ок}}$ , называется **наиболее вероятным событийным прогнозом**, а принимаемый по максимальному приоритетному весу  $G_j^{\text{ок}}$  – **взвешенным событийным прогнозом**.

Как показала практика ситуативного прогнозирования, наиболее эффективными чаще оказывались взвешенные событийные прогнозы, менее эффективными – наиболее вероятные и далеко не всегда эффективными – фаворитные прогнозы. Что касается ситуативных сценарных прогнозов, то для их реализации используются специальные системные методологии и методы – такие, как Делфи,

ПЕРТ, ПАТТЕРН, сети Петри и другие, анализ которых выходит за рамки данного аналитического обзора и нуждается в отдельном исследовании.

Таблица 2.2

**Экспертные вероятностные оценки различных возможных вариантов событийных прогнозов**

Эксперты $\mathcal{E}_i$ и ранги $r_i$ их квалификации		Варианты $C_j$ событийных прогнозов					
		$C_1$	$C_2$	...	$C_j$	...	$C_M$
$\mathcal{E}_1$	$r_1$	$P_{11}$	$P_{12}$	...	$P_{1j}$	...	$P_{1M}$
$\mathcal{E}_2$	$r_2$	$P_{21}$	$P_{22}$	...	$P_{2j}$	...	$P_{2M}$
...	...	...	...	...	...	...	...
$\mathcal{E}_i$	$r_i$	$P_{i1}$	$P_{i2}$	...	$P_{ij}$	...	$P_{iM}$
...	...	...	...	...	...	...	...
$\mathcal{E}_N$	$r_N$	$P_{N1}$	$P_{N2}$	...	$P_{Nj}$	...	$P_{NM}$
Вероятности $P_j^{ок}$ и веса $G_j^{ок}$ альтернативных вариантов окончательного прогноза		$P_1^{ок}$	$P_2^{ок}$	...	$P_j^{ок}$	...	$P_N^{ок}$
		$G_1^{ок}$	$G_2^{ок}$	...	$G_j^{ок}$	...	$G_N^{ок}$

**Параметрические экспертные прогнозы**

По способу расчета параметрические экспертные прогнозы могут быть разделены на те же виды, что и ситуационные.

**Фаворитный параметрический прогноз** какого-либо параметра  $X$  системы принимается по прогнозу этого показателя, сделанному тем экспертом  $\mathcal{E}_i$ , который обладает самым высоким рангом квалификации  $r_i$ , т.е. по формуле (2.4), аналогичной формуле (2.1) для выбора окончательного событийного экспертного прогноза:

$$П_{ок}(X) = П_{ф}(X) = П_i(X), \text{ если } r_i = \max(r_1, r_2, \dots, r_N) \quad (2.4)$$

**Средний параметрический прогноз**  $X_C$  показателя  $X$  принимается по среднему значению прогнозов  $X_i$  отдельных экспертов  $\mathcal{E}_i$ :

$$П_{ок}(x) = \bar{x}_c = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i. \quad (2.5)$$

**Взвешенный параметрический прогноз**  $X_{ВЗВ}$  показателя  $X$  при известных квалификационных рангах  $r_i$  отдельных экспертов  $\mathcal{E}_i$  (табл. 2.2) рассчитывается по формуле

$$П_{ок}(x) = \overline{x_{взв}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^N r_i} * \sum_{i=1}^N r_i x_i, \quad (2.6)$$

**ожидаемый параметрический прогноз**  $X_{ож}$  (математическое ожидание  $X$ ) – по формуле

$$П_{ок}(x) = \overline{x_{ож}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^N P_i} * \sum_{i=1}^N P_i x_i, \quad (2.7)$$

где  $P_i$  – вероятность реализации прогноза  $X_i$   $i$ -го эксперта, а взвешенно-ожидаемый  $X_{ВОЖ}$ , который учитывает и ранги  $r_i$ , и вероятности  $P_i$ , рассчитывается по формуле

$$П_{ок}(x) = \overline{x_{вож}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^N P_i r_i} * \sum_{i=1}^N P_i r_i x_i. \quad (2.8)$$

### 2.3. Расчетно-аналитические модели и прогнозы

Основой модельного прогнозирования является создание и использование представляемых расчетными алгоритмами или формулами математических моделей поведения объектов прогноза. Такие модели могут быть либо формальными (абстрактными), не поддающимися содержательной интерпретации, либо содержательно формализованными (допускающими содержательную интерпретацию параметров модели), либо каузальными (феноменологическими), строящимися, исходя из четких причинно обусловленных представлений или конкретных знаний о строении и функционировании объекта прогноза. Использование формальных математических моделей, которым сложно дать четкую содержательную интерпретацию, оправдывается чисто внешней похожестью поведения модели и объекта прогноза, которая и обеспечивает в целом неплохую прогнозную результативность таких моделей при небольшой заблаговременности прогноза.

В отличие от формальных, содержательно формализованные математические модели дают достаточно четкое представление о соответствии их параметров конкретным характеристикам моделируемого объекта, что заметно облегчает и повышает эффективность их практического использования. Наиболее адекватными действительности являются каузальные (феноменологические) математические модели, создаваемые, исходя из четких причинно

обусловленных знаний или представлений об особенностях строения и функционирования объекта прогноза. Такие модели прогностически более эффективны и дают возможность более уверенно принимать по ним ответственные прогностические и деловые решения.

Общая классификационная схема рассматриваемых далее расчетно-аналитических методов моделирования и прогноза сложных процессов и систем приведена на рис.2.1, а ее детализированный вариант – на рис. 2.10.

Из всех средств математического моделирования и прогноза наиболее распространенными являются исторически появившиеся первыми, и потому наиболее развитые, методы прогнозирования временных рядов: сначала отдельных таких рядов (в целом или по составляющим их основным компонентам), а затем и их аддитивно связанных иерархических систем, которые характеризовали изменения во времени параметров состояния процессов и систем в экономике, демографии и ряде других предметных областей. Классификационная схема основных методов прогнозирования временных рядов представлена на рис.2.2.



Рис. 2.1. Общая классификационная схема расчетно-аналитических моделей и прогнозов сложных процессов и систем

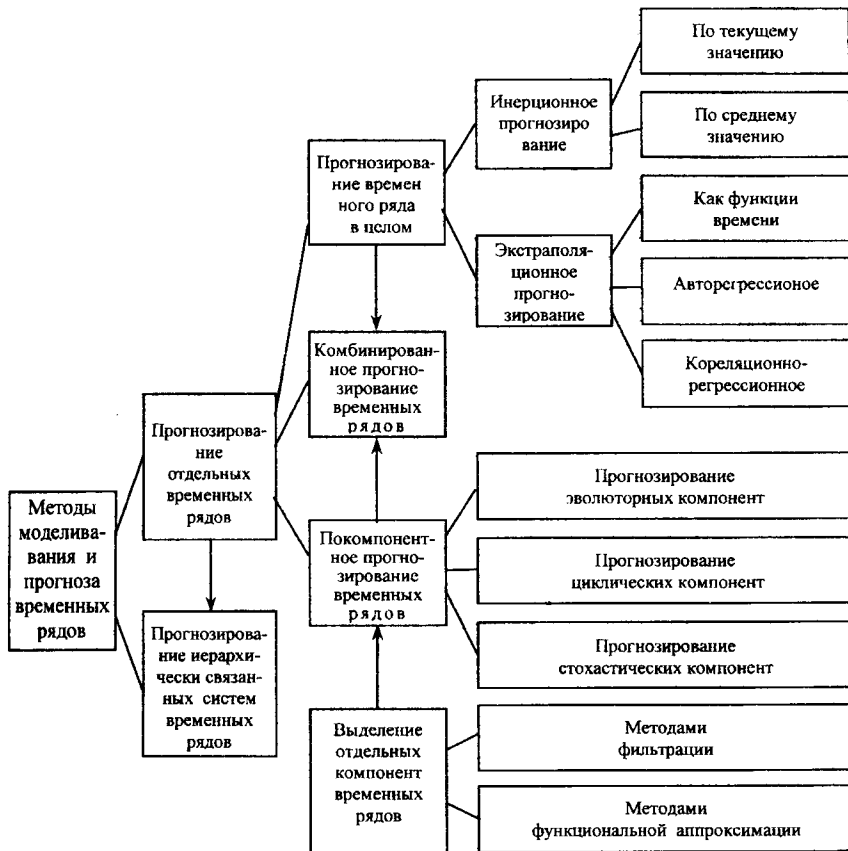


Рис. 2.2. Классификационная схема основных методов прогнозирования сложных процессов и систем по моделям временных рядов характеризующих их состояние параметров

*Методы анализа и прогноза сложных процессов и систем по моделям временных рядов параметров их состояния*

В основе прогнозов временного ряда в целом лежит гипотеза о наличии в динамике прогнозируемого показателя какой-либо постоянной или временно действующей устойчивой функциональной закономерности, видимое проявление которой на графике изменения этого ряда во времени может маскироваться случайными возмущениями за счет действия неизвестных или случайных факторов.



Основными видами таких прогнозов являются **инерционное** и **экстраполяционное прогнозирование**.

К инерционным моделям прогноза относятся:

- прогноз временного ряда  $Y_1, Y_2, \dots, Y_t, \dots, Y_N$  показателя  $Y$  по его текущему значению для упреждения (заблаговременности)  $u$ :

$$Y_{N+u} = Y_N, \quad (2.9)$$

- прогноз временного ряда  $Y_1, Y_2, \dots, Y_t, \dots, Y_N$  по среднему значению этого ряда:

$$Y_{N+u} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i, \quad (2.10)$$

или его нескольких  $k$  последних членов

$$Y_{N+u} = \frac{1}{N} \sum_{i=N-k+1}^N y_i. \quad (2.11)$$

Инерционные прогнозы по моделям (2.9), (2.10), как малоэффективные, используются редко, главным образом в тех случаях, когда временной ряд  $Y(t)$  является или представляется совершенно случайным и о его будущих значениях невозможно выдвинуть никаких обоснованных или правдоподобных гипотез, либо когда в поведении  $Y_t$  наметились или могут ожидаться некоторые постоянные направленные изменения (модель (2.11)).

К инерционным можно отнести также и прогнозы по среднему приросту  $\Delta Y$  и по среднему темпу  $\rho Y$  изменения экономического показателя, если они являются или считаются неизменными на всей длине  $N$  временного ряда  $Y(t)$ .

$$Y_{N+u} = Y_N + u * \Delta y, \quad (2.12)$$

$$Y_{N+u} = Y_N * (\rho y)^u. \quad (2.13)$$

Такие прогнозы являются упрощенными вариантами прогнозирования по линейной функции и экспоненте, которые рассматриваются ниже, и требуют выполнения довольно сложных вычислений. Значительно эффективнее инерционных являются прогнозы экстраполяционные. Основными типами моделей для таких прогнозов считаются:

- **функциональные модели**, в которых экономический показатель является определенной функцией времени, т. е.  $Y = F(t)$ ;

• **авторегрессионные модели**, в которых будущие значения экономического показателя являются функцией  $Y_{N+u} = F(Y_N, Y_{N-1}, \dots, Y_{N-u})$  его прошлых значений;

• **корреляционно-регрессионные модели**, в которых будущие значения  $Y_{N+u}$  показателя являются функцией прошлых значений не только его самого, но и некоторых других показателей  $X_1, X_2, \dots$ , которые в рамках одной системы изменяются вместе с  $Y$ , т. е.  $Y_{N+u} = F(Y_N, Y_{N-1}, \dots, X1_N, X1_{N-1}, \dots, X2_N, X2_{N-1}, \dots, )$

Параметры всех названных моделей находятся, как правило, методами статистической обработки временных рядов  $Y(t)$ , главным из которых является широко известный метод наименьших квадратов (МНК), описывать его на страницах этого обзора нет необходимости. Заметим только, что алгоритм реализации этого метода допускает две формы представления функциональных зависимостей  $Y(t) = F[X(t)]$ :

**аддитивную**

$$F_a(t) = \sum_{i=1}^n F_i(t) \quad (2.14)$$

**и мультипликативную**

$$F_M(t) = \prod_{i=1}^n F_i(t). \quad (2.15)$$

Приведем основные наиболее употребительные функциональные модели временных рядов экономических показателей  $Y = F(t)$ .

Линейная функция

$$Y(t) = A + B * t, \quad (2.16)$$

Квадратичная парабола

$$Y(t) = A + B * t + C * t^2, \quad (2.17)$$

Кубическая парабола

$$Y(t) = A + B * t + C * t^2 + D * t^3, \quad (2.18)$$

Гипербола

$$Y(t) = A + B / (C + x), \quad (2.19)$$

Степенная функция

$$Y(t) = A^t, \quad (2.20)$$

Логарифмическая функция

$$Y(t) = A + B * \ln t, \quad (2.21)$$

Логарифмическая парабола

$$Y(t) = A * B^t * C t^2 \quad (2.22)$$

Экспонента

$$Y(t) = A * e^{B * t + C} = A * \exp(B * t + C), \quad (2.23)$$

Экспонентно-степенная функция

$$Y(t) = e^{B * t} * t^C \quad (2.24)$$

Логиста

$$Y(t) = K / (1 + B * e^{-C * x}) \quad (2.25)$$

Квадратичная логиста

$$Y(t) = K^2 / (1 + B * e^{-C * x})^2 \quad (2.26)$$

Функция Гомперца

$$Y(t) = A * \exp(-B * (\exp(-C * x))), \quad (2.27)$$

Тригонометрическая функция

$$Y(t) = a_0 + bt + \sum_{i=1}^n C_i \sin(\omega_i t + \varphi_i) \quad (2.28)$$

где  $A_i$  – амплитуда,  $\omega_i$  – частота, а  $\varphi_i$  – фаза  $i$ -ой гармоники тригонометрического ряда.

При использовании для прогноза временных рядов экономических показателей  $Y(t)$  экстраполирующих моделей в большинстве случаев достаточно ограничиться приведенным выше набором функций (2.16) – (2.28). Применять более сложные функции, такие, как полиномы выше третьей степени, ряды Фурье, Чебышева и пр., нецелесообразно, так как, кроме значительной трудности содержательной интерпретации их параметров, высокая точность аппроксимации ими временного ряда  $Y(t)$  при определении ее параметров методом наименьших квадратов (МНК) совсем не гарантирует достаточно высокое качество его прогноза по этим функциям даже на ближайшее будущее. В этом методе критерием выбора наилучшей аппроксимирующей временной ряд  $Y(t)$  функции  $F(t)$  является минимум дисперсии  $S$  аппроксимации этого ряда такой функцией, где

$$S = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n [Y(t) - F_a(t)]^2 \quad (2.29)$$

Однако, пользоваться этим формальным критерием следует по отношению не сразу ко всем аппроксимирующим моделям (2.18) – (2.30), а лишь к предварительно выбранным для апробирования по критерию внешней схожести их поведения с поведением временного ряда прогнозируемого экономического показателя. Как показал опыт прогнозирования временных рядов, стратегия такого выбора строится на последовательном выполнении следующих действий:

1) строится график временного ряда  $Y(t)$  и из всех возможных прогнозных моделей  $F(t)$  типа (2.18) – (2.30) отбираются только те, чьи графики больше других схожи с графиком  $Y(t)$ ;

2) из отобранных функций  $F(t)$  выбираются 3-4 таких, приросты, темпы роста и прочие динамические характеристики которых близки к таким же характеристикам прогнозируемого временного ряда  $Y(t)$ ;

3) для каждой из выбранных таким образом функций  $F(t)$  методом МНК определяются ее параметры, выполняется аппроксимация ею ряда  $Y(t)$ , по формуле (2.31) рассчитывается дисперсия  $S$  этой аппроксимации и по наименьшей из этих дисперсий выбираются 2-3 наиболее точные прогнозных функции  $F(t)$ ;

4) из определенных таким образом наиболее точно аппроксимирующих  $Y(t)$  функций  $F(t)$  окончательно выбирается одна прогнозная – либо самая простейшая (с меньшим числом параметров), либо та, параметры которой легче поддаются содержательной интерпретации. При таком выборе необходимо иметь в виду, что эта интерпретация зависит не только от вида аппроксимирующей функции, но и от знака и величины входящих в ее выражение параметров. В частности, простая гипербола, линейная и логарифмическая функции могут иметь две, экспонента – четыре, а квадратичная парабола – шесть возможных содержательных интерпретаций. Следует отметить, что предварительный выбор на этапе (1) аппроксимирующей функции  $F(t)$  может быть существенно затруднен наличием в реальной динамике прогнозируемого временного ряда  $Y(t)$  случайных флуктуаций  $\varepsilon(t)$ , которые способны заметно исказить вид закономерной эволюторной или трендовой компоненты  $Y_{\text{тр}}(t)$ . Для преодоления таких затруднений и облегчения выбора аппроксимирующей  $Y_{\text{тр}}(t)$  экстраполяционной функции  $F(t)$  случайные флуктуации  $\varepsilon(t)$  отфильтровывают применением к исходному временному ряду  $Y(t)$  сглаживающего оператора  $S_n$  скользящего усреднения:

$$S_n[Y(t)] = \frac{1}{2n} \int_{t-n}^{t+n} Y(t) dt = \bar{y}_n(t), \quad (2.30)$$

вследствие чего  $\varepsilon(t)$  отфильтровывается, а трендовая компонента  $Y_{mp}(t)$ , по которой выбирается прогнозирующая функция  $F(t)$ , выделяется четче. Для дискретного ряда  $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$  оператор  $S_n$  имеет вид

$$S_n[Y_i] = \frac{1}{2n} \int_{i-n}^{i+n} Y_i = \bar{y}_i^{(n)} \quad (2.31)$$

При наличии довольно длинного временного ряда  $Y(t)$  на этапе (3) вместо критерия минимума дисперсии его аппроксимации прогнозирующей функцией  $F(t)$  целесообразно использовать критерий минимума дисперсии контрольных прогнозов  $Y(t)$  по  $F(t)$ , которые осуществляются на не включенной в расчет параметров этой функции конечной части ряда  $Y(t)$ . После этого прогнозная функция  $F(t)$ , по которой будет осуществляться экстраполяция ряда  $Y(t)$  в будущее, рассчитывается по всему этому ряду. В отдельных случаях, когда в прогнозируемом ряде  $Y(t)$  начинает происходить изменение основной тенденции его поведения, это приводит к закономерному (чаще всего к линейному) увеличению погрешности аппроксимации при приближении к концу ряда. Такое возрастание, которое обычно легко фиксируется, можно аппроксимировать линейной функцией и ввести соответствующие коррекции в расчетные значения  $Y(t)$  на участке прогноза для повышения точности прогнозирования. Рассмотренные процедуры выбора наилучшей прогнозирующей функции с учетом их прогностической эффективности и содержательной интерпретируемости широко применялись в 1970 – 1980 гг. в отделе энергетики и электрификации Госплана Украины в практике годового и 5-летнего планирования развития народного хозяйства [11, 12] в рамках АСПР (автоматизированной системы плановых расчетов).

Кроме приведенных выше довольно простых монофункциональных моделей временных рядов экономических показателей  $Y(t)$ , в практике их прогнозирования широко применяются более сложные, но и более эффективные функциональные модели адаптивного сглаживания и прогноза, к которым относятся прогнозы по скользящему среднему, модели экспоненциального сглаживания, а также прогнозы по автокорреляционным и корреляционно-регрессионным моделям и пр. В основе всех методов адаптивного прогнозирования лежит требование учитывать при прогнозе факт уменьшения

информационной ценности данных временного ряда по мере их удаления в прошлое от точки прогноза, для чего к этим данным применяют операцию дисконтирования, т. е. присвоение им так называемых дисконтных весовых коэффициентов, которые уменьшаются при использовании более старых данных. Простейшим примером такого дисконтного прогноза является инерционный прогноз временного ряда  $Y(t)$  с заблаговременностью  $u$  по его среднему значению  $Y_{nu}(t)$ , рассчитанному не по всем  $N$ -членам этого ряда, а только по его  $n$ -значениям, где  $n \ll N$ , последнее из которых сдвинуто относительно прогнозируемого момента  $t_{пр}$  на  $u$  единиц времени назад. При этом, как показано на рис. 2.3, каждое из таких сочетаний  $ni$  позволяет сделать внутри  $N$ -членного ряда известных значений  $Y(t)$  контрольную серию из  $K = N - u - n$  таких прогнозов и для каждой из этих серий рассчитать соответствующую ей дисперсию  $S_{ni}$  или среднеквадратичную погрешность  $\sigma_{ni}$  прогнозирования.

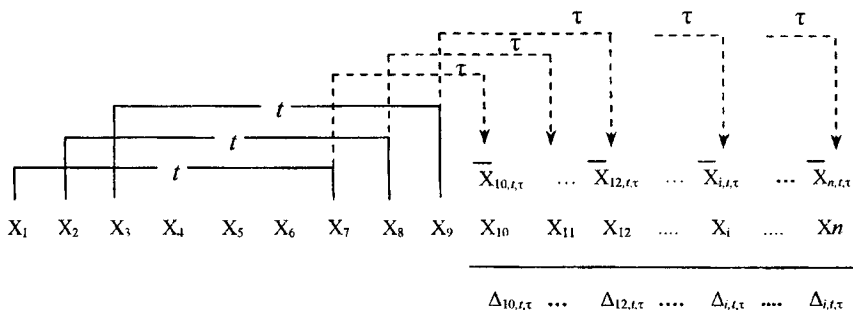


Рис. 2.3. Схема составления серии контрольных инерционных прогнозов временного ряда  $Y(t)$  по расчетной средней  $Y_{nu}(t)$ , при фиксированных значениях параметров прогнозирования  $n$  и  $u$

Представив все рассчитанные для различных сочетаний  $ni$  значения  $\sigma_{ni}$  в виде прямоугольной матрицы размерности  $n \times u$ , можно выбрать наиболее оптимальное  $(n_0 \times u_0)$  из них, обеспечивающее минимум среднеквадратичной погрешности  $\sigma_{ni}$  прогнозирования  $Y(t)$  по  $Y_{nu}(t)$ .

Такой подход оказался довольно эффективным при наличии во временном ряду  $Y(t)$  циклической компоненты с периодом  $L$ , частично замаскированной случайными флуктуациями  $\varepsilon(t)$ . Как показали серии экспериментальных прогнозов, при наличии во временном ряду  $Y(t)$  циклических колебаний  $Y$  со средним периодом

колебаний  $L$ , минимум дисперсии  $S_n$  при прогнозе  $Y$  на  $u$  шагов в будущее обеспечивается при  $n_0$  и  $u_0$ , для которых выполняется соотношение

$$0,5 * n + u = L. \quad (2.32)$$

Это соотношение было использовано нами [13,14] при прогнозировании в 1970 г. на период 1971 – 2000 гг. (рис.2.4) среднегодового стока Днепра  $Q$  и среднегодовых сумм зимних отрицательных температур  $\Sigma T$ , которые необходимы:

- для расчета зависящей от стока планируемой годовой выработки электроэнергии каскадом Днепровских ГЭС на каждый год и пятилетку прогнозного периода ( $Q$ );
- для расчетов годовых и пятилетних плановых расчетов на тот же период зависящей от температуры наружного воздуха потребности Киева и Украины в топливе, тепловой и электрической энергии в зимний отопительный период ( $\Sigma T$ ).

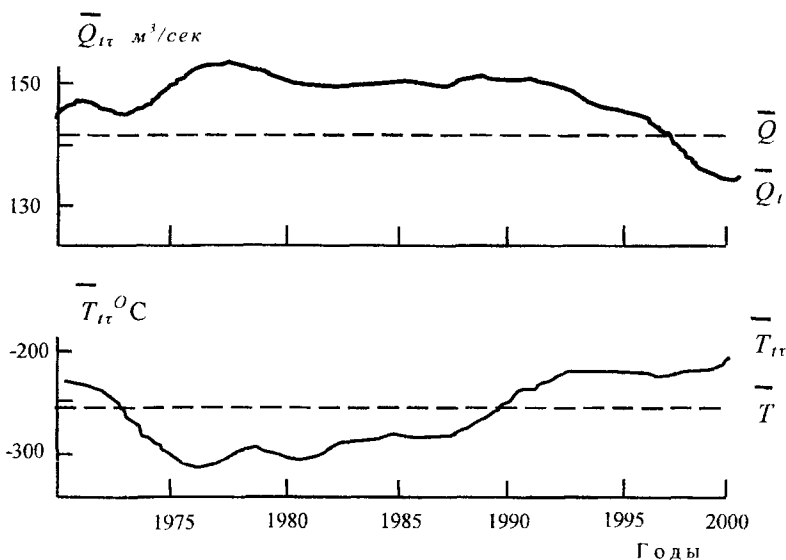


Рис.2.4. Спрогнозированные по оптимальным расчетным средним за 150-летний период наблюдений 1821–1970 гг. тенденции изменения среднегодового Днепра  $Q$  и среднегодовых сумм зимних отрицательных температур  $\Sigma T$  в Киеве на период 1981–2000 гг.

Как следует из представленных на рис.2.4 результатов такого прогнозирования, оно оказалось достаточно эффективным, так как позволило предвидеть реально проявившееся с середины 90-х годов и продолжающееся сейчас постепенное потепление и частично связанное с ним уменьшение водности Днепра.

По широко распространенному мнению в экономической печати и в правительственных кругах большинства стран, это потепление и его многочисленные социально и экономически неблагоприятные последствия обусловлены растущими антропогенными выбросами в атмосферу парниковых газов.

Вопреки этому мнению в мировой научной литературе все чаще высказывается альтернативная точка зрения, согласно которой основной причиной реально зафиксированного объективными метеорологическими наблюдениями современного потепления является естественная долгопериодная цикличность изменений климата, обусловленная действием общепланетарных геофизических, внешних гелиофизических и глобальных космофизических факторов, а антропогенные факторы могут лишь частично его усиливать. В частности, по данным [15] ученых Пулковской астрономической обсерватории, текущий цикл наблюдаемого сейчас временного естественного потепления уже заканчивается и после 2012 г. в связи с начинающимся долгопериодным циклом уменьшения потока солнечного излучения сменится очередным циклом глобального похолодания, которое достигнет своего пика в середине этого века и последствия которого, во-первых, будут существенно отличаться от последствий глобального потепления, а во-вторых, могут оказаться намного катастрофичней последних.

Что касается предполагаемого отепляющего действия антропогенных факторов на фоне этого похолодания, то оно может лишь немного его смягчить, но ни в коем случае предотвратить.

Следует также отметить, что совсем недавно несколько сотен ведущих ученых мира подписали письмо, в котором утверждают, что никакой связи между промышленным производством и потеплением нет, а наблюдаемое текущее потепление, являющееся следствием долгопериодных естественных колебаний земного климата, вскоре сменится существенным похолоданием. Анализ публикаций на эту тему, как и наш собственный опыт участия в исследованиях долгосрочных изменений погодно-климатического режима в Украине, подтверждает эту альтернативную точку зрения. Какая из этих двух гипотез (потепления или похолодания) более близка к истине –



выяснится в ближайшие 5 – 10 лет, после чего можно будет научно обоснованно разрабатывать более или менее конкретные практические рекомендации и планы мероприятий по смягчению возможных неблагоприятных последствий изменения климата. С нашей точки зрения, большинство известных и достаточно аргументированных вариантов этих прогнозов можно представить в виде схемы, приведенной на рис. 2.5.

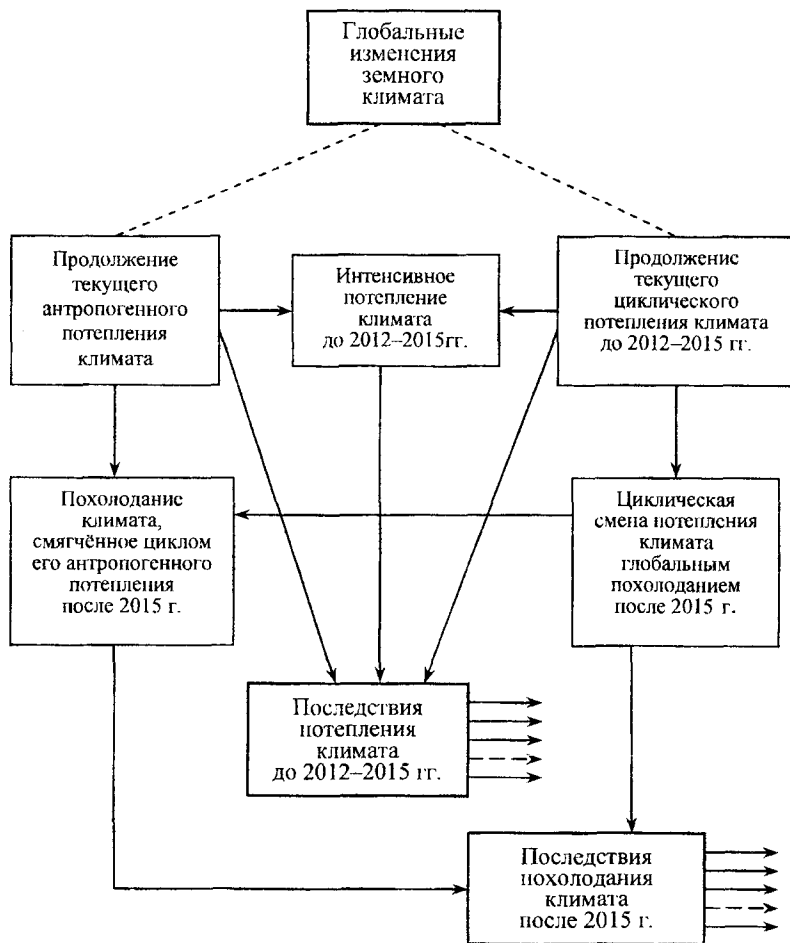


Рис.2.5. Альтернативные варианты глобальных изменений климата и их возможных последствий

К сожалению, современное состояние науки не позволяет пока составлять достаточно надежных однозначных прогнозов ни направленности долгосрочных изменений климата, ни интенсивности их развития, ни тем более региональных особенностей их территориального проявления. В настоящее время такие прогнозы могут иметь лишь вероятностный вариантный характер. Учитывая это, мы считаем целесообразным в ближайшие 3 – 5 лет направить основные усилия на мониторинг мировых исследований и прогнозов возможных изменений глобального климата, на анализ ожидаемых влияний этих изменений на наиболее зависящую от них энергетическую и экологическую сферы и тесно связанное с ними развитие экологических, социально-экономических и политических событий в Украине и других государствах СНГ и мира, а также на проведение собственных фундаментальных научных исследований в этих направлениях институтами НАН Украины.

Кроме описанного выше адаптивного метода прогнозирования посредством использования оператора обычного скользящего осреднения можно использовать и весьма эффективный метод скользящего экспоненциального сглаживания [16,17,18], в основу которого положено соотношение

$$Y_{\text{прогн}}(t + 1) = \alpha * Y_{\text{факт}}(t) + \beta * Y_{\text{прогн}}(t), \quad (2.33)$$

в котором прогноз  $Y$  на момент  $t+1$  определяется, как взвешенное среднее фактического значения  $Y$  в момент  $t$  и его прогнозного значения в этот же момент, где весовые коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$  для обеспечения несмещенности прогноза должны в сумме равняться единице, т.е.  $\alpha + \beta = 1$ . С учетом этого требования прогнозирующую функцию (2.33) можно переписать в виде

$$Y_{\text{прогн}}(t + 1) = Y_{\text{прогн}}(t) + \alpha * (Y_{\text{факт}}(t) - Y_{\text{прогн}}(t)), \quad (2.34)$$

т. е., прогноз  $Y(t)$  на момент  $t+1$  равняется сумме прогноза на момент  $t$  и поправки, пропорциональной его погрешности. Эта поправка называется коррекцией погрешности, а ее коэффициент  $\alpha$  определяет скорость адаптации прогноза к погрешности прогнозирования. При практическом использовании прогнозных выражений (2.33), (2.34) за начальный прогноз  $Y_{\text{прогн}}(t)$  можно принять или какое-то из последних фактических значений  $Y(t)$ , или среднее значение  $Y_n(t)$  из таких последних значений, а  $\alpha$  определяется путем перебора его разных значений по минимуму среднеквадратичной погрешности серий

контрольных прогнозов ряда фактических значений  $Y_{\text{факт}}(t)$  при разных фиксированных  $\alpha$ .

В практике прогнозирования временных рядов экономических показателей  $Y(t)$  применяется несколько разных модификаций метода экспоненциального сглаживания, которые оказываются довольно эффективными при прогнозировании с заблаговременностью от 1 до 5 – 6 шагов вперед (обычное экспоненциальное сглаживание при фиксированном наилучшем  $\alpha$ ) и до 7 – 15 шагов вперед при переменном  $\alpha$ , которое направленно изменяется при появлении в трендовой компоненте ряда  $Y(t)$  новых устойчивых тенденций.

Среди методов формального прогнозирования временных рядов важное место занимают прогнозы по авторегрессионным моделям, в которых будущие значения прогнозируемых показателей являются линейными функциями их прошлых значений, а также прогнозы по более сложным корреляционно-регрессионным моделям, где будущие значения показателя  $Y(t)$  линейно зависят еще и от прошлых значений других сопутствующих ему показателей  $X(t)$ , изменяющихся одновременно с  $Y(t)$  в той же самой моделируемой системе. В общем случае авторегрессионная модель имеет вид

$$Y(t) = a_1 * Y_{t-1} + a_2 * Y_{t-2} + \dots + a_u * Y_{t-u} + \xi(t), \quad (2.35)$$

где  $u$  – глубина значимой автокорреляции, которая значительно меньше длины ряда  $N$ , а  $\xi(t)$  – случайный флуктуационный остаток типа белого шума. Чаще всего авторегрессионная модель используется для прогноза стационарных случайных процессов  $Y(t)$  с нормально распределенными значениями  $Y$  при их постоянном или нулевом среднем  $\bar{Y}$  и не зависящей от времени постоянной дисперсией  $D_Y$ .

Как стационарные процессы могут вести себя и колебания отдельных экономических показателей (цен и некоторых индексов) в определенные периоды относительно стабильного экономического развития, а также случайные отклонения этих показателей от их закономерных эволюторных трендов, т. е. случайные компоненты нестационарных временных рядов  $Y(t)$ . Кроме того, авторегрессионные связи будущих значений  $Y(t)$  с их прошлыми значениями могут быть следствием наличия в экономической системе замкнутых контуров обратной связи с запаздыванием, т. е. модель (2.37) способна описывать поведение и детерминированных систем, внутренние связи которых могут быть по разным причинам невыявленными.

При практическом использовании этой модели для целей прогноза ее коэффициенты авторегрессии  $a_u$  вычисляются по известным значениям временного ряда  $Y(t)$  обычным методом наименьших квадратов, а количество этих коэффициентов, или глубина  $u$  значимой автокорреляции, определяются специальными методами математической статистики.

Аналогично, но с применением анализа как автокорреляционной функции ряда  $Y(t)$ , так и взаимокорреляционных функций его с сопутствующими рядами  $X(t)$ , строятся корреляционно-регрессионные модели

$$Y(t) = \sum_{i=1}^k a_i * Y_{t-i} + \sum_{i=1}^{M_1} b_i * (X_1)_{t-i} + \dots + \sum_{i=1}^{M_k} b_i * (X_k)_{t-i} + \xi(t). \quad (2.36)$$

При вычислении коэффициентов регрессии ( $a_i, b_j$ ) этих моделей также применяется метод наименьших квадратов и, кроме того, специальные методы поиска и устранения мультиколлинеарности между всеми обрабатываемыми рядами.

Для нахождения наиболее эффективных вариантов моделей (2.35), (2.36) широко применяются также различные методы оптимизации их поиска, среди которых следует отметить метод группового учета аргументов (МГУА) [19, 20], основанный на использовании специальных итерационных процедур целенаправленного перебора возможных вариантов наборов коэффициентов ( $a_i, b_j$ ) с учетом особенностей изменения во времени рядов  $X(t), Y(t)$ .

Кроме прогнозирования временных рядов экономических показателей  $Y(t)$  как единого целого, широко практикуется также более эффективный метод их прогноза путем предварительной декомпозиции (разложения) прогнозируемого ряда на компоненты разной природы, последующей экстраполяции каждой из выделенных компонент и сложения полученных результатов, которое и дает окончательный прогноз.

В основе покомпонентного прогнозирования лежит наличие в динамике почти всех экономических показателей трех основных компонент: плавной эволюторной, волнообразной циклической и случайной флюктуационной (стохастической) компонент. Эволюторная компонента  $E(t)$  динамики любого экономического показателя  $Y(t)$  характеризует его плавные однонаправленные изменения в сторону роста или падения, циклическая компонента  $C(t)$  характеризует поочередную смену одного однонаправленного изменения показателя  $Y(t)$  другим противоположно направленным, что

порождает его плавные колебания с относительно стабильными периодами  $L$  и амплитудами  $A$ , а стохастическая компонента  $\varepsilon(t)$  – случайные хаотичные флюктуации  $Y(t)$  с переменными во времени периодами и амплитудами.

В отдельных случаях эволюторная компонента может иметь вид кривой с одним или двумя экстремумами, циклическая – вид дискретных ритмических, а стохастическая – дискретных случайных разовых всплесков.

Для покомпонентного прогнозирования временного ряда  $Y(t)$ , который всегда можно представить суммой

$$Y(t) = E(t) + C(t) + \varepsilon(t), \quad (2.37)$$

необходимо в первую очередь выделить отдельные составляющие его компоненты  $E(t)$ ,  $C(t)$ , и  $\varepsilon(t)$ . Такое выделение или декомпозицию  $Y(t)$  можно выполнить многими методами, детально описанными в специальной литературе [21,22,23]. Мы коротко охарактеризуем некоторые наиболее простые и то же время достаточно эффективные из них.

Первым шагом такого выделения является построение и дальнейший визуальный анализ графика поведения  $Y(t)$  во времени. Если на этом графике явным образом выделяется и преобладает эволюторная компонента  $E(t)$ , то после предварительного визуального определения ее вида  $F(t)$  она может быть выделена в виде одной из функций (2.18) – (2.30) непосредственной обработкой временного ряда  $Y(t)$  обычным методом наименьших квадратов. Если  $F(t)$  завуалирована или искажена стохастической компонентой  $\varepsilon(t)$ , то последняя предварительно отфильтровывается методом скользящего среднего, что дает возможность более объективно определить тип и затем методом наименьших квадратов рассчитать параметры аппроксимирующей эту функцию математической модели  $F(t)$  из (2.16) – (2.28). После определения параметров выбранной модели  $F(t)$  рассчитываются соответствующие ей аппроксимированные значения  $E_{\text{апп}}(t)$  трендовой компоненты  $E(t)$  и по различиям между  $Y(t)$  и  $E_{\text{апп}}(t)$  определяется остаток

$$\Delta_C(t) = Y(t) - E_{\text{апп}}(t), \quad (2.38)$$

состоящий из суммы циклической  $C(t)$  и стохастической  $\varepsilon(t)$  компонент  $Y(t)$ . После этого по графику изменения  $\Delta_C(t)$  во времени визуально или по статистически значащим пикам рассчитанной для  $\Delta_C(t)$  автокорреляционной функции  $R_{\Delta}(\tau)$  определяются основные

периоды  $L$  циклической компоненты  $C(t)$  ряда  $Y(t)$ . Для явного выделения этой компоненты она отфильтровывается из остатка  $\Delta_C(t)$  либо оператором скользящего сглаживания (2.33) при периоде сглаживания  $n \ll L_{\min}$ , где  $L_{\min}$  – наименьшее из всех определенных  $L$ , либо как сумма основных гармоник ряда Фурье (2.30), которым аппроксимируется этот остаток. Если выделенную таким образом циклическую компоненту обозначить  $C_{\text{апп}}(t)$ , то второй расчетный остаток

$$\Delta_{\xi}(t) = Y(t) - E_{\text{апп}}(t) - C_{\text{апп}}(t) \quad (2.39)$$

будет представлять собою случайную компоненту  $\xi(t)$ .

Последним шагом в процедуре декомпозиции временного ряда экономического показателя является проверка возможности аппроксимации и прогноза его случайной компоненты  $\varepsilon(t)$ , расчетным представителем которой является определенный выше второй остаток  $\Delta_{\xi}(t)$ . Если временной ряд значений этого остатка можно считать стационарным случайным процессом, то для его аппроксимации и прогноза используются либо рассмотренные выше методы авторегрессии или экспоненциального сглаживания, либо один из специальных методов [16,17,18,19] прогнозирования таких рядов. Если же остаток  $\Delta_{\xi}(t)$  является белым шумом, то прогнозировать его невозможно, и он может считаться той случайной компонентой, которая определяет точность аппроксимации ряда  $Y(t)$  суммой его выделенных эволюторной и циклической компонент.

После декомпозиции временного ряда  $Y(1), Y(2), \dots, Y(N)$  экономического показателя  $Y(t)$  на составляющие его компоненты  $E(t) = E_{\text{апп}}(t)$ ,  $C(t) = C_{\text{апп}}(t)$  и  $\varepsilon_{\text{апп}}(t) = \Delta_{\xi}(t)$  по аппроксимирующим эти компоненты функциям из (2.18) – (2.30) вычисляются их расчетные прогнозные значения  $E_{\text{пр}}(t)$ ,  $C_{\text{пр}}(t)$ , и  $\varepsilon_{\text{пр}}(t)$  для будущих моментов  $t = N+1, N+2, \dots, N+\tau$ , суммы которых и определяют прогноз дальнейшего поведения показателя  $Y(t)$ :

$$Y_{\text{пр}}(t) = E_{\text{пр}}(t) + C_{\text{пр}}(t) + \varepsilon_{\text{пр}}(t). \quad (2.40)$$

Возможная погрешность такого композиционного прогноза будет не ниже погрешности аппроксимации исходного эмпирического ряда  $Y(t)$  расчетной суммой

$$Y_{\text{апп}}(t) = E_{\text{апп}}(t) + C_{\text{апп}}(t) + \varepsilon_{\text{апп}}(t) \quad (2.41)$$

и с ростом заблаговременности  $\tau$  прогноза будет также возрастать, причем темп роста этой погрешности будет зависеть от того, насколько сохранятся в будущем те закономерности в поведении основных компонент  $Y(t)$ , которые определяли их поведение в прошлом.

Следует заметить, что точность композиционного прогноза временного ряда может быть несколько повышена, если при выделении из него операторами скользящего сглаживания (2.32) – (2.33) его эволюторной и циклической компонент объективно учесть те алгоритмические искажения, которые вносятся в эти компоненты применением к  $Y(t)$  сглаживающих операторов. Дело в том, что результатом выделения такими операторами любой детерминированной компоненты  $F(t)$  типа (2.16) – (2.28) с зашумленной стохастическими флюктуациями  $\varepsilon(t)$  ряда  $Y(t)$  является не сама эта компонента, а ее деформированное подобие  $F^*(t)$ , требующее коррекции и иногда довольно значительной. Эта особенность операторов скользящего сглаживания, которая может стать дополнительным источником ошибочности прогнозов, очень редко освещается в статистической литературе и потому заслуживает отдельного внимания. Как показало аналитическое исследование [13] последствий применения таких операторов

$$S_n[F(t)] = \frac{1}{2n} \int_{t-n}^{t+n} F(t) dt = \bar{Y}_n(t) \quad (2.42)$$

к разным конкретным функциям  $F(t)$ , неизменными остаются только константа  $F(t) = C = Const$  и линейная функция  $F(t) = A + B * t$ , так как  $S_n[C] = C$  и  $S_n[A + B * t] = A + B * t$ , а все остальные функции частично искажаются, и для них  $S_n[F(t)] = F^*(t)$ . Так, для квадратичной параболы  $F(t) = A + B * t + C * t^2$ , для которой  $S_n[F(t)] = F(t) + G$ , таким искажением является изменение всех значений  $F(t)$  на константу  $G = C * n^2 / 3$ ; для функции  $F(t) = A^t$  и циклических колебаний  $F(t) = A * \sin(2\pi * t / L)$  с периодом  $L$  характерны масштабные искажения  $S_n[F(t)] = M * F(t)$ , которые определяются формулами

$$M = (A^{2n} - 1) / (2n * A * \ln A) \quad (2.43)$$

и

$$M = (L / 2\pi n) * \sin(2\pi n / L) \quad (2.44)$$

соответственно;

для кубической параболы  $F(t) = A + B * t + C * t^2 + D * t^3$

$$S_n[F(t)] = F^*(t) = F(t) + Q(t), \quad (2.45)$$

г. е. появляется линейное искажение  $Q(t) = D * n^2 * (t + 1/n)$ .

Во многих случаях применение оператора  $S_n$  может привести к изменению вида выделяемой из зашумленного случайной компонентой  $\varepsilon(t)$  временного ряда  $Y(t) = F(t) + \varepsilon(t)$  функции  $F(t)$ , когда  $S_n[Y(t)] = \Phi(t)$ , где  $\Phi(t)$  и  $F(t)$  – функции разного вида. В частности, для гиперболы  $F(t) = A / t$

$$S_n[F(t)] = \Phi(t) = (A / 2n) * \ln((t+n) / (t-n)), \quad (2.46)$$

а для логарифмической функции  $F(t) = \ln t$

$$S_n[F(t)] = \Phi(t),$$

где  $\Phi(t) = (t+n) * \ln(t+n) - (t-n) * \ln(t-n) - 2n$ .  $(2.47)$

При известном виде функции  $F$ , которая описывает детерминированную часть  $F(t)$  динамики временного ряда  $Y(t)$  или детерминированную часть  $F(x)$  корреляционной связи  $Y(x)$  исследуемых показателей  $Y$  и  $x$ , искажения этой детерминированной части, порожденные применением оператора скользящего сглаживания  $S_n$ , можно скорректировать введением соответствующих корректирующих поправок или выполнением определенных функциональных преобразований результатов сглаживания, которые следуют из анализа влияния оператора  $S_n$  на  $F(t)$  или  $F(x)$ .

Примеры эффективного применения таких поправок и преобразований приведены в работах [11,25,26]. Если же вид функции  $F$  неизвестен, то, исходя из возможности довольно точного представления ее кубическими сплайнами или рядами Фурье, можно таким же образом представить и результат сглаживания ее оператором  $S_n$ , чтобы затем, применив к этому результату корректирующие поправки соответствующих функций, получить свободную от алгоритмических искажений математическую модель детерминированной составляющей исследуемого временного ряда  $F(t)$  или корреляционной связи  $F(x)$ .

Поскольку в динамике многих производственно-технических и технико-экономических показателей, характеризующих функционирование и развитие энергетики, содержатся явно выраженные циклические компоненты, которые обычно выделяются оператором скользящего сглаживания (2.33), способным при определенных



условиях приводить к радикальному искажению отдельных циклических компонент, то для предотвращения и устранения таких искажений нами предложен специальный прием использования этого оператора. Суть предложенного приема состоит в многократном применении к исследуемому процессу  $x(t)$  оператора скользящего интегрирования (скользящего осреднения)

$$\frac{1}{2n} \int_{t-n}^{t+n} x(t) dt \quad (2.48)$$

при возможно меньшей величине периода осреднения  $n$  и отнесении результата осреднения к середине этого периода. Если процесс  $x(t)$  задан в дискретной форме, т.е. в виде временного ряда  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_t, \dots, x_N$  последовательных значений  $x(t)$ , то в операторе (2.48) знак  $\int_{t-n/2}^{t+n/2} x(t) dt$  заменяется знаком суммы  $\sum_{t-n/2}^{t+n/2} x(t)$ , а в качестве наимень-

шего возможного значения периода осреднения  $n$  принимается  $n = 2$  или  $n = 3$ .

Как показано в работе [26], применение оператора (2.48) к циклическому процессу  $x(t) = x_{ц}(t) + e(t)$ , где  $x_{ц}(t)$  – его циклическая, а  $e(t)$  – случайная составляющая, приводит к новому циклическому процессу  $\bar{x}_n(t) = x_{ц}(t) + \bar{e}_n(t)$ , где  $\bar{x}_{ц}(t)$  такая же, как и  $x_{ц}(t)$ , но несколько уменьшенная по амплитуде циклическая часть процесса  $x(t)$ , а  $\bar{e}_n(t)$  – его существенно сглаженная случайная составляющая  $e(t)$ .

При многократном ( $c$ -кратном) применении оператора (2.48) к процессу  $x(t)$  его случайная составляющая  $e(t)$  практически полностью отфильтровывается, т.е.  $\bar{e}_n^c(t) \approx 0$ , в результате чего из него оказывается выделенной лишь  $c$ -кратно уменьшенная по амплитуде циклическая составляющая  $\bar{x}_{ц}^c(t)$ , откуда следует  $\bar{x}_n^c(t) \approx \bar{x}_{ц}^c(t)$ .

В большинстве случаев сама по себе эта составляющая представляет собой последовательность плавно переходящих друг в друга положительных и отрицательных полуциклов с разными амплитудами  $A$  и периодами  $L$ , причем каждый  $i$ -й такой полуцикл  $x_{ц}(t)$  вполне однозначно определяется выражением

$$x_w(t) = x_{oi} + k_i * (t - t_{oi}) + A_i * \sin \frac{3,14 * (t - t_{oi})}{2 * L_i} \quad (2.49)$$

где  $t_{oi}$ ,  $L_i$  и  $A_i$  – начало, длительность и амплитуда этого ( $i$ -го) полупериода, а коэффициент  $k_i$  характеризует наклон его оси к оси времени  $t$ .

Характерной особенностью оператора (2.48) является то, что его многократное ( $c$ -кратное) применение к последовательности полупериодов типа (2.49) оставляет все их характеристики ( $t_{oi}$ ,  $L_i$  и  $A_i$ ), кроме амплитуды  $A_i$ , неизменными. При этом для любого  $i$ -го полупериода результатом  $c$ -кратного сглаживания будет его сглаженный вариант

$$x_w(t) = x_{oi} + k_i * (t - t_{oi}) + \rho^c * A_i * \sin \frac{3,14 * (t - t_{oi})}{2 * L_i}, \quad (2.50)$$

где 
$$\rho = \frac{2 * L_i}{\pi * n} \sin \frac{\pi * n}{2 * L_i} \quad (2.51)$$

представляет собой искажающий коэффициент, характеризующий уменьшение его амплитуды при однократном применении оператора (2.1). При  $c$ -кратном применении этого оператора искажающий коэффициент оказывается равным  $\rho^c$ .

Таким образом, каждое последующее осреднение, уменьшая в  $\rho$  раз амплитуду  $i$ -го полупериода, оставляет неизменным его длину  $L_i$  и моменты перехода в соседние полупериоды. Поэтому при построении графиков двух различных ступеней осреднения процесса  $x(t)$ , например, графиков  $\overline{x_{oi}^c}(t)$  и  $\overline{x_{oi}^{c+1}}(t)$ , моменты таких переходов одних полупериодов в другие, т.е. начала и концы этих полупериодов (рис. 2.6), легко определяются по точкам пересечения их графиков.

Определив по таким точкам пересечения период  $L_i$  каждого полупериода (как удвоенный промежуток  $l_i$  между его началом и концом) и сняв с графика  $\overline{x_{oi}^c}(t)$  отсчитываемые от оси полупериода его уменьшенные сглаживающим скользящим осреднением фазовые амплитуды  $\overline{A_i^c}(l)$ , связанные с истинными амплитудами  $A_i(l)$  соотношением

$$\overline{A_i^c}(l) = \rho_i^c * A_i(l), \dots (W) \quad (2.52)$$

нетрудно, учитывая ( $W$ ), вычислить истинные значения этих амплитуд:

$$A_i(l) = \frac{\overline{A_i^c(l)}}{\rho^c} \quad (2.53)$$

Отложив затем найденные фазовые амплитуды  $A_i(l)$  от осей соответствующих полуциклов и соединив полученные точки плавной кривой, можно легко получить неискаженный график входящей в исследуемый процесс  $x(t)$  его циклической составляющей  $x_{ц}(t)$ , а затем и выделить из него и его случайную компоненту  $\varepsilon(t) = x(t) - x_{ц}(t)$  (см. рис 2.6).

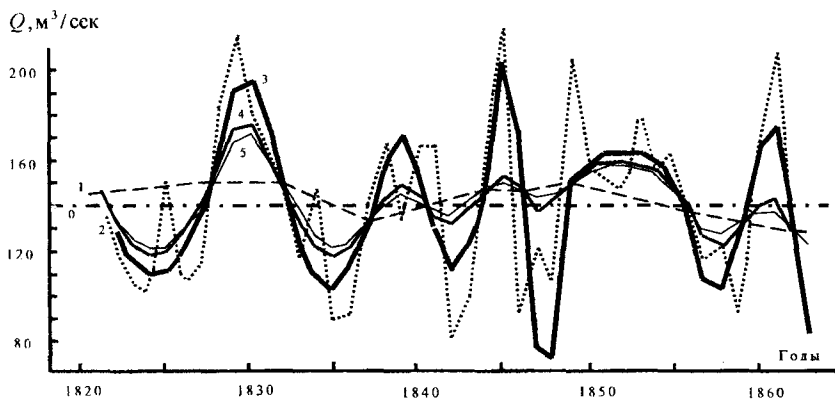


Рис. 2.6. Выделения циклической составляющей  $X_{ц}$  годового стока  $X$  Днепра  $Q$  в створе Кисва по результатам его 3-кратного ( $X_3$ ) и 4-кратного ( $X_4$ ) сглаживания по скользящим 3-леткам с учетом вызываемых этим сглаживанием искажающих эффектов.

Следует отметить, что существуют также достаточно простые методы фильтрации временных рядов, которые почти не вносят заметных искажений в отфильтрованные ими закономерные эволюторную и циклическую компоненты.

Одним из таких методов является разработанный нами метод скользящего полиномиального сглаживания [27], в основе которого лежит аппроксимация  $n$ -членных скользящих участков исследуемого

ряда  $Y(t)$  некоторым заранее выбранным сглаживающим полиномом  $F(t)$  и последующее определение для каждой точки  $t_i$  этого ряда соответствующего ей сглаженного значения  $Y_i(t)$ . Это значение рассчитывается как среднее или средневзвешенное из аппроксимированных значений  $Y(t)$ , полученных по сглаживающим полиномам  $F(t)$ , полученным для различных включающих в себя точку  $t_i$   $n$ -членным участкам ряда. Опыт использования такого подхода показал, что в качестве сглаживающей полинома целесообразней всего использовать полиномы не выше третьей степени. Такими полиномами являются:

кубическая парабола

$$F(t) = At^3 + Bt^2 + Ct + D, \quad (2.54)$$

квадратичная парабола

$$F(t) = Bt^2 + Ct + D, \quad (2.55)$$

линейная функция

$$F(t) = Ct + D, \quad (2.56)$$

их частный случай

$$F(t) = D. \quad (2.57)$$

Полином (2.54) удобен тем, что обеспечивает эффективную скользящую аппроксимацию всех непрерывных функций, имеющих в пределах любого интервала скольжения не более двух экстремумов и одной точки перегиба. Полином (2.55) эффективно аппроксимирует (с точностью до второй производной) непрерывные функции, имеющие в пределах любого интервала скольжения только один экстремум или точку перегиба. Прямая (2.56) дает хорошую скользящую аппроксимацию монотонных функций, а сглаживание временных рядов константой (2.57) эквивалентно их двукратному скользящему усреднению без потери информации в начале и в конце ряда.

Перечисленные возможности скользящего сглаживания полиномами (2.54) – (2.57) позволяют осуществлять эффективное выделение из динамики гидрометеорологических величин любых встречающихся на практике функциональных трендов. Важным свойством этих полиномов, также оправдывающим целесообразность использования их в качестве сглаживающих функций, является возможность их содержательной интерпретации как в целом, так и на

уровне отдельных коэффициентов при степенях  $t$ . Так, в полиноме (2.55), характеризующем равноускоренное или равнозамедленное изменение исследуемой величины  $Y(t)$  в некотором фиксированном интервале времени длиной  $n$ , параметры  $D$  и  $C$  означают соответственно расчетное исходное значение и расчетную исходную скорость изменения  $Y(t)$  в начале этого интервала. Текущая скорость изменения (прирост) величины  $Y(t)$  в любой момент  $t$  внутри сглаживающего интервала выражается первой производной  $\Delta(t) \approx F(t) = 2Bt + C$ , а среднее для всего интервала изменение этой скорости в единицу времени – удвоенным коэффициентом  $B$ . Аналогично могут быть интерпретированы и параметры других полиномов.

Характерной особенностью метода скользящего полиномиального сглаживания является постепенное изменение параметров сглаживающего полинома при скольжении интервала сглаживания вдоль временного ряда. Учитывая интерпретируемость этих параметров, выявление и анализ закономерностей их изменения могут дать ценную информацию о динамике исследуемых величин, а экстраполяция этих закономерностей в будущее – увеличить эффективность их прогнозирования. Практическая реализация метода скользящего полиномиального сглаживания сводится к выполнению следующих действий.

1. Исходя из целей анализа и учитывая особенности динамики исследуемого временного ряда, выбирается вид сглаживающего полинома  $F(t)$  и интервал сглаживания  $n$ . Так, при исследовании равномерно или почти равномерно изменяющихся величин в качестве сглаживающего полинома выбирается линейная функция, при анализе резко изменяющихся величин или величин с экстремумами – квадратическая парабола, а при исследовании колеблющихся величин и трендов сложной конфигурации – квадратическая или кубическая парабола. При выборе скользящего интервала сглаживания количество охватываемых им временных отметок  $t$ , не превышая длины сглаживаемого ряда  $N$ , должно быть в полтора-два раза больше числа параметров сглаживающего полинома. Кроме того, выбор  $n$  для анализа колеблющихся показателей связан с учетом величины периода их колебаний  $L$ .

2. Посредством метода наименьших квадратов осуществляется скользящая кусочная аппроксимация сглаживания ряда  $Y(t)$  полиномами выбранного вида  $F(x)$ . Сначала находится полином  $F_1(x)$ , аппроксимирующий первые  $n$  точек  $Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n$  сглаживаемого ряда, затем – полином  $F_2(x)$  для такого же, но сдвинутого на одну



помимо случайной составляющей содержит только неколебательный эволюторный тренд, то выделение его методом скользящего полиномиального сглаживания необходимо осуществлять, руководствуясь следующими рекомендациями.

1. Для выделения линейных или почти линейных монотонных трендов в качестве сглаживающего полинома целесообразно использовать линейную функцию (2.56) при величине сглаживающего интервала  $n$  более 3 точек.

2. Для выделения существенно нелинейных монотонных трендов и трендов с одним экстремумом в качестве сглаживающего полинома предпочтительней использовать квадратичную параболу при  $n$  более 4 точек.

3. Для выделения трендов с более чем одним экстремумом и точками перегиба лучшим сглаживающим полиномом является кубическая параболу при  $n$  более 5 точек.

4. Наименьшую возможную величину интервала сглаживания  $n$  необходимо выбирать, исходя из условия  $n$  более  $R+1$  точек, где  $R$  – порядок сглаживающего полинома, а также требования, чтобы ни в один из скользящих интервалов выбранной длины  $n$  не попало более одной особой точки (точки экстремума или перегиба) при использовании квадратической и более двух особых точек при использовании кубической параболы.

Выполнение приведенных рекомендаций при анализе динамики исследуемых величин позволяет практически без искажений выделять из нее неколебательные эволюторные тренды любой конфигурации. Для разработки аналогичных рекомендаций по выделению колебательных (циклических) трендов необходимо знать соответствующую каждому алгоритму такого выделения искажающую функцию  $\rho=f(n/L)$ , которая характеризует зависимость отношения  $\rho=A^*/A$  искаженной сглаживанием амплитуды  $A^*$  колебаний исследуемого показателя к искомой амплитуде  $A$  его неискаженных колебаний от отношения величины скользящего интервала сглаживания  $n$  к периоду этих колебаний  $L$ .

В работе [28] нами были найдены и исследованы искажающие функции  $\rho=f(n/L)$  для алгоритмов выделения циклических трендов методами как обычного, так и полиномиального скользящего сглаживания. Из анализа поведения этих функций (рис. 2.7) следует, что скользящее осреднение и сглаживание константой не могут обеспечить неискаженное по амплитуде выделение колебательного тренда. Кроме того, выделение этими способами циклических трендов с

переменными во времени периодами и амплитудами приводит к смещению границ между соседними полуциклами в сторону полуциклов, имеющих большее отношение их амплитуды  $A$  к периоду  $L$ , что вносит в исследуемый циклический тренд заметные фазовые искажения. Поэтому для выделения таких трендов следует использовать лишь сглаживающие полиномы (2.54) – (2.56), отдавая предпочтение квадратической, а при высокоамплитудных короткопериодных циклах – кубической параболе. Так как необходимые для объективного выбора длины интервала сглаживания  $n$  искажающие функции  $\rho = f(n/L)$ , соответствующие указанным полиномам, аналитически вывести не удалось, они были получены и построены по результатам экспериментальных компьютерных расчетов.

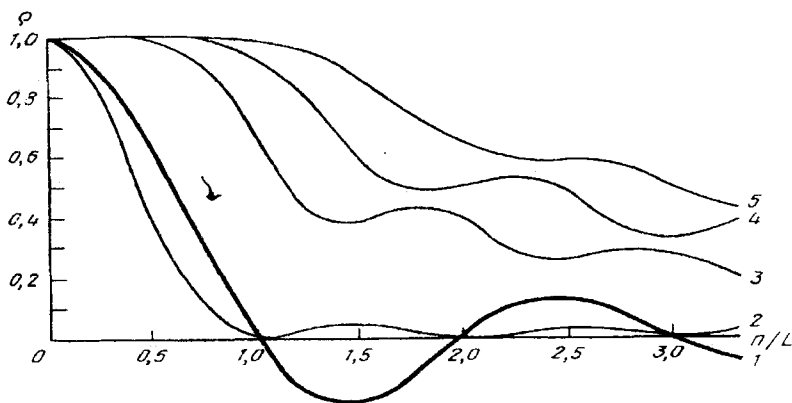


Рис. 2.7. Искажающие функции скользящего осреднения (1) и скользящего полиномиального сглаживания для константы (2), линейной функции (3), квадратической (4) и кубической (5) параболы.

Анализ поведения этих функций (рис.2.7) показал, что для каждого из сглаживающих полиномов существуют такие отношения  $n/L$ , при которых уменьшение амплитуды выделяемых этими полиномами циклов не превышают 1–2%, т. е. практически отсутствуют. Для рассмотренных полиномов (линейной функции, квадратической и кубической парабол) эти отношения не превышают соответственно 0,4, 0,8 и 1,2. Поэтому при наличии в выделяемой циклической составляющей минимального по длительности периода цикла  $L$  интервал скользящего сглаживания для выделения указанными



полиномами неискаженной) циклической составляющей должен быть не больше чем 0,4, 0,8 и 1,2  $L$  соответственно.

В случаях, когда циклическая составляющая динамики исследуемой величины наблюдается на фоне его плавного эволюторного тренда, выделение этого тренда в чистом виде можно осуществить одним из двух способов – либо аппроксимацией всего исследуемого ряда полиномом второй или третьей степени, либо его скользящим сглаживанием этими полиномами по интервалам длиной  $n$ , содержащим не более двух особых точек (экстремумов или перегибов) каждый.

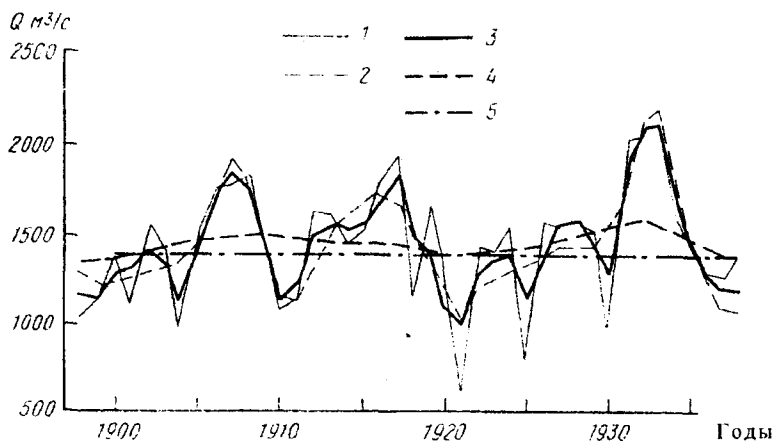


Рис. 2.8. Фрагмент фактических и сглаженных различными методами многолетних колебаний годового стока Днепра в створе Киева: 1 – фактические; 2 – сглаженные методом скользящих средних с учетом сопутствующих искажающих эффектов; 3, 4 – выделенные предлагаемым методом циклическая составляющая и внутривековое изменение водности; 5 – уровень среднегодовой нормы этой водности.

В качестве примера применения предложенного метода на рис. 2.8 приведен фрагмент выделения циклической составляющей средне-годовых расходов Днепра [28] в створе Киева (кривая 2) в сопоставлении с результатом выделения этой составляющей методом скользящего осреднения с устранением сопутствующих ему искажающих эффектов (кривая 3). Из сопоставления сглаженных разными методами циклических колебаний стока Днепра с его фактическими колебаниями (кривая 1) видно, что метод скользящего полиномиаль-

ного сглаживания более точно выделяет реальные циклы водности, чем обычное скользящее осреднение. Увеличение длины сглаживающего интервала до 30 позволяет практически без искажений выделить долгопериодные внутривековые колебания этой водности (кривая 4).

Рассмотренный пример и изложенные теоретические соображения свидетельствуют об эффективности разложения содержащих циклическую компоненту временных рядов исследуемых величин скользящим полиномиальным сглаживанием и позволяют сделать вывод о возможности его успешного использования при исследовании циклодинамики сложных процессов. При этом, как показал опыт такого использования, для надежного (без алгоритмических искажений) выделения линейных трендов из ряда  $Y(t)$  сглаживающим полиномом целесообразно выбирать линейную функцию при длине интервала сглаживания  $n > 3$ ; для выделения из  $Y(t)$  существенно нелинейных трендов с одним экстремумом таким сглаживающим полиномом целесообразно избрать квадратичную параболу при  $n > 4$ , а для выделения из  $Y(t)$  трендов с несколькими экстремумами (или с циклической компонентой) сглаживающим полиномом лучше избрать кубическую параболу при  $n > 5$ .

Объективное выделение описанными методом этих компонент исследуемых процессов представляет не только самостоятельный интерес, но может быть использовано как для их дальнейшего углубленного анализа, так и для исследования их связи с другими сопутствующими им циклодержащими процессами.

В заключение отметим, что все рассмотренные выше расчетно-аналитические методы прогнозирования временных рядов параметров состояния сложных процессов и систем могут успешно применяться и к различным содержательно важным модификациям этих рядов, в частности к их приростам, темпам роста, удельным характеристикам, структурным соотношениям и пр.

Целесообразность использования таких модификаций состоит в том, что значительная часть информации о динамике прогнозируемого показателя содержится во временном ряду его значений в скрытом виде и при прогнозировании обычно не используется. Чтобы использовать эту информацию, ее следует предварительно выделить, для чего исходный временной ряд необходимо подвергнуть специальным преобразованиям. В результате таких преобразований этот ряд порождает набор своих модификаций, многие из которых несут информацию о тех особенностях исследуемого ряда, которые

при его представлении в исходном виде остаются скрытыми и недоступными для анализа и использования. При этом могут быть выделены модификации двух основных типов: *собственные*, характеризующие внутренние свойства самого исходного прогнозируемого ряда, и *взаимные*, характеризующие свойства и особенности его поведения по отношению к рядам других показателей, связанных с ним причинными непосредственными или опосредованными функциональными связями.

Примерами собственных модификаций любого временного ряда  $X(t)$  могут служить ряды его абсолютных и относительных приростов и темпов роста, ряды, сглаженные операциями скользящего осреднения, интегральные ряды (накопленные суммы) и др. Примерами взаимных модификаций являются ряды, образованные различными отношениями членов исследуемого ряда к соответствующим членам какого-либо другого сопутствующего ему ряда.

Такие отношения могут быть *структурными* и *функциональными*. Ряды структурных отношений характеризуют изменение во времени доли прогнозируемого показателя в некотором другом однородном с ним показателе, куда первый входит в качестве составной части, например удельный вес электропотребления промышленности в потреблении электроэнергии всем народным хозяйством. Ряды функциональных отношений характеризуют динамику частного двух показателей (необязательно однородных), которое может иметь явно выраженную тенденцию направленного изменения во времени даже в случае, когда изменения самих образующих это отношение показателей таких направленных тенденций не обнаруживают.

Например, потребление электроэнергии  $\mathcal{E}$  на производство некоторых продуктов питания и объемы  $V$  этого производства подвержены весьма резким колебаниям, обусловленным колебаниями урожайности сельскохозяйственных культур, из которых эти продукты производятся. Вместе с тем в рядах отношений  $\mathcal{E}/V$ , представляющих собой удельные расходы электроэнергии на выпуск тонны продукта, резкие колебания уже отсутствуют и легко прослеживается явно выраженная тенденция их постепенного уменьшения.

Следует отметить, что взаимные модификации могут быть образованы не только посредством отношений показателей, но и другими способами их совместного преобразования. Модификации прогнозируемых рядов для целей прогноза полезны тем, что некоторые из них могут обладать большей упорядоченностью во времени и прогнозироваться легче, чем образующие их исходные временные ряды.

Располагая прогнозом модификации некоторого временного ряда  $X(t)$ , посредством соответствующего обратного преобразования нетрудно получить прогноз породившего ее исходного ряда, и, как показали многочисленные расчеты, такие прогнозы нередко оказываются более точными, чем прогноз самого исходного ряда. Поэтому при прогнозировании временных рядов в отдельных случаях прогнозы целесообразно составлять не только по самим этим рядам, но и по различным их модификациям, выбирая в качестве окончательных те из них, для которых полученные по ним прогнозирующие функции показывают наилучшие результаты на проверочном участке.

Для любого прогнозируемого ряда можно образовать множество различных его модификаций с целью получения по ним прогнозов этого ряда, однако для проверки на контрольном участке целесообразно выбирать только такие модификации, которые отличаются простотой получения и сравнительно легко поддаются содержательной интерпретации. В качестве примера приведем некоторые из возможных модификаций для случая временных рядов двух показателей – исследуемого  $X(t)=X_1, X_2, \dots, \dots, X_N$  и сопутствующего ему  $Y(t)=Y_1, Y_2, \dots, \dots, Y_N$ . Эти модификации могут быть рассчитаны по следующим простым формулам:

$$X_{\Sigma}(t) = \sum_{\tau=1}^t X(\tau) \quad (2.59)$$

$$\Delta_c^*(t) = X(t) - X(t-c) \quad (2.60)$$

$$\delta_c^*(t) = X(t) / X(t-c) \quad (2.61)$$

$$\varphi^{xy}(t) = X(t) / Y(t) \quad (2.62)$$

$$\varphi_c^{xy}(t) = X(t) / Y(t-c) \quad (2.63)$$

$$\varphi^{\Delta\Delta}(t) = \Delta^*(t) / \Delta^*(t) \quad (2.64)$$

$$\varphi^{\Delta\Delta}(t) = \Delta^*(t) / \Delta^*(t-c) \quad (2.65)$$

$$\varphi^{\delta\delta}(t) = \delta^*(t) / \delta^*(t) \quad (2.66)$$

$$\varphi^{\delta\delta}(t) = \delta^*(t) / \delta^*(t-c) \quad (2.67)$$

Все приведенные модификации достаточно просты, поддаются содержательной интерпретации и по прогнозу любой из них можно легко получить [11] прогнозное значение соответствующего ей исходного временного ряда. При использовании модификационного прогнозирования временных рядов следует иметь в виду, что наиболее эффективными из рассмотренных модификаций чаще всего оказывались структурные соотношения и темпы роста, реже – абсолютные приросты и лишь иногда – интегральные модификации.

Как показала практика экономического прогнозирования, никакие методы и модели прогноза отдельных показателей не могут непосредственно использоваться при прогнозировании систем взаимозависимых показателей, так как не обеспечивают выполнения балансовых соотношений, отображающих иерархию аддитивных связей в таких системах. Обычно такие системы образуются любым объемным показателем, который планируется одновременно на разных иерархических уровнях (уровнях подчиненности) в отраслевом, ведомственном или территориальном разрезах и имеет древовидную структуру с единым интегральным показателем на верхнем уровне, который распадается на ряд показателей нижних уровней и т.д.

В качестве примера такой системы можно привести энергопотребление, которое рассматривается в отраслевом разрезе последовательно на уровнях всей экономики, ее отраслей, подотраслей, отраслей промышленности и т.д. вплоть до производственных объединений или отдельных предприятий. Энергопотребление, как и любой другой объемный показатель, может рассматриваться в территориальном и ведомственном разрезах, а также в различных сочетаниях этих разрезов.

Прогнозирование многоуровневых иерархических систем экономических показателей представляет собой сложную задачу, решаемую в несколько этапов, основными из которых являются следующие:

- описание структуры иерархической системы и соответствующих ей балансовых соотношений, которым должны удовлетворять все образующие эту систему показатели;
- независимое самостоятельное прогнозирование динамики каждого отдельного показателя системы с осуществлением в случае необходимости трендовой корректировки этих прогнозов;
- выявление и устранение дисбалансов полученных прогнозов, т. е. балансировка системы.

Структура многоуровневой иерархической системы аддитивно связанных экономических показателей может быть представлена разветвленным графом, вершины которого соответствуют показателям системы, а соединяющие их дуги – аддитивным связям между этими показателями. Соответствующее такому графу формальное представление структуры системы  $N$ -показателей имеет вид набора  $N$ -пар чисел  $ij$ , где  $i$  – номера показателей  $x_i$  системы, представляющих особую сумму других показателей  $x_j$ , а  $j$  – номера этих других показателей, входящих в  $x_i$  в качестве слагаемых. Нумерация показателей может быть произвольной, однако ее удобнее осуществлять последовательно сверху вниз по уровням системы и слева направо внутри уровней, как это показано на рис.2.9.

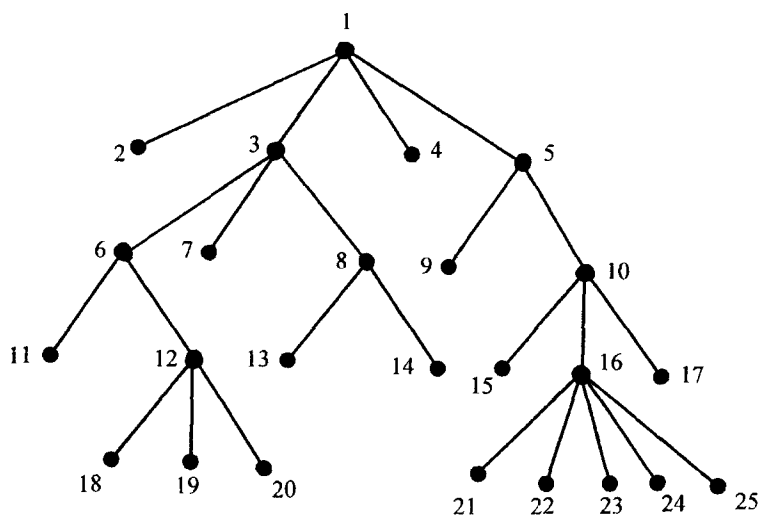


Рис.2.9. Вариант структуры многоуровневой иерархической системы аддитивно связанных экономических показателей

Показатели самого нижнего уровня системы и те показатели других уровней, которые не распадаются на составляющие, называются свободными; показатели, которые включают в себя два или больше показателей низшего уровня – кустовыми, а кустовой показатель самого верхнего уровня – головным. Балансовые

соотношения, которым удовлетворяют все фактические значения кустовых показателей системы и обязательно должны удовлетворять все их прогнозные значения, описываются уравнениями вида

$$X_{i,C} = \sum_{j=1}^{N_{i,C+1}} X_{j,C+1} \quad (2.68)$$

где  $X_{i,C}$  – кустовой показатель  $C$ -го иерархического уровня,  $X_{j,C+1}$  – его арифметические составляющие из низшего  $C+1$ -го уровня, а  $N_{i,C+1}$  – количество таких составляющих. Применительно к рассматриваемой системе (рис.2.9) эти балансовые соотношения будут иметь вид

$$X_1 = \sum_{j=2}^5 X_j; \dots X_{10} = \sum_{j=6}^8 X_j; \dots X_{12} = \sum_{j=9}^{10} X_j; \dots X_{16} = \sum_{j=11}^{12} X_j;$$

$$X_8 = \sum_{j=13}^{14} X_j; \dots X_{10} = \sum_{j=15}^{17} X_j; \dots X_{12} = \sum_{j=18}^{20} X_j; \dots X_{16} = \sum_{j=21}^{25} X_j; \quad (2.69)$$

Структура системы, удовлетворяющей перечисленным соотношениям, описывается 25 парами чисел  $ij$ : 1,0; 2,1; 3,1; 4,1; 5,1; 6,3; 7,3; 8,3; 9,5; 10,5; 11,6; 12,6; 13,8; 14,8; 15,10; 16,10; 17,10; 18,12; 19,12; 20,12; 21,16; 22,16; 23,16; 24,16; 25,16.

Прогнозирование аддитивно связанных показателей системы осуществляется в несколько этапов. Сначала независимо от других самостоятельно прогнозируется каждый входящий в рассматриваемую иерархическую систему отдельный показатель, для которого выбирается наилучшая для его прогнозирования аппроксимирующая функция. Однако совокупность таких прогнозов отдельных образующих систему показателей еще не является прогнозом поведения системы в целом, так как полученные независимо друг от друга эти прогнозы, как правило, не удовлетворяют соответствующим структуре этой системы балансовым соотношениям (2.68), вследствие чего возникает задача балансировки прогнозов. Наиболее распространенным и широко используемым в планировании способом решения этой задачи является применение различных эвристических или формально-эвристических методов распределения дисбаланса [29], которые лишены достаточного математического обоснования и являются во многом субъективными.

Объективное и строгое решение задачи балансировки может быть получено на основе использования как специальных оптимизационных методов устранения дисбалансов в системе прогнозируемых аддитивно связанных показателей, так и более простого предложен-

ного нами метода иерархически балансирующего осреднения индивидуальных прогнозов этих показателей, легко реализуемого на обычных ПК средствами EXCEL. В основе этого метода лежит очевидное утверждение, что любая линейная комбинация нескольких сбалансированных систем одинаковой структуры порождает новую сбалансированную систему той же структуры, а процедура балансирования сводится к поочередному получению из показателей каждого уровня системы соответствующего ему частного сбалансированного варианта прогноза этой системы и последующему переходу от этих частных вариантов к окончательному общесистемному сбалансированному прогнозу, который является их определенной линейной комбинацией.

Каждый частный вариант сбалансированных прогнозов рассчитывается на основе использования независимо полученных прогнозов всех показателей каждого отдельного иерархического уровня. Так, по независимым прогнозам  $\Pi_n X_{j,C}$  всех показателей  $X_{j,C}$   $C$ -го иерархического уровня расчетные сбалансированные с ними прогнозы  $\Pi_p X_{i,C-1}$  показателей  $X_{i,C-1}$  непосредственно предшествующего ему высшего ( $C-1$ )-го уровня однозначно определяются балансовым соотношением

$$\Pi_p X_{i,C-1} = \sum_{j=1}^{N_{i,C}} \Pi_n X_{j,C} \quad (2.70)$$

подобным соотношению (2.39). Аналогичные расчетные сбалансированные прогнозы  $\Pi_p X_{k,C+1}$  показателей  $X_{k,C+1}$  непосредственно следующего за  $C$  низшего ( $C+1$ )-го иерархического уровня, из сумм которых состоят показатели  $X_{j,C}$  уровня  $C$ , определяются структурно-балансовым соотношением

$$\Pi_p X_{k,C+1} = \Pi_n X_{j,C} * \Pi_n X_{k,C+1} / \sum_{k=1}^{N_{k,C+1}} \Pi_n X_{k,C+1} \quad (2.71)$$

В результате расчетов по простым соотношениям (2.40), (2.41) для любой  $M$ -уровневой системы несбалансированных независимых прогнозов отдельных показателей каждого иерархического уровня получается  $M$  сбалансированных вариантов этой системы. За окончательный прогнозный вариант такой системы показателей пользователь прогнозов может принять или один из этих  $M$ -вариантов, или любую их линейную комбинацию.

$$\Pi X_i = \sum_{m=1}^M g_m * \Pi_{pm} X_i \quad (2.72)$$



В последнем случае каждому  $m$ -му варианту системы сбалансированных прогнозов присваивается определенный вес  $g_m$ , где  $m$  – номер того иерархического уровня системы, по независимым прогнозам  $\Pi_m X_i$  показателей  $X_i$  которого рассчитывался по соотношениям (2.70), (2.71) этот вариант. Чаще всего значение весов  $g_m$  или принимаются равными единице (при этом окончательное балансирование становится обычным осереднением), или определяются пользователем в зависимости от степени его доверия к прогнозам показателей отдельных уровней (осуществляется экспертное балансирование взвешенным осереднением). В отдельных случаях эти веса принимаются равными мере точности прогнозов показателей системы по соответствующим уровням и тогда реализуется точностное балансирование этих прогнозов взвешенным осереднением.

Детально этот метод балансового прогнозирования иерархических систем как аддитивно, так и линейно связанных экономических показателей изложен в работах [30, 31]. Практика использования этого метода показала его высокую эффективность при условии, что на показатели системы не наложены никакие особые ограничения. Для решения аналогичных задач при наличии таких особых ограничений, которые могут накладываться одновременно на различные показатели системы, необходимо использовать специальные методы математического программирования.

*Каузальное прогнозирование сложных процессов и систем по аналогии и по опережающим индикаторам*

Под каузальной феноменологической моделью понимается такая причинно обоснованная и содержательно интерпретируемая математическая модель объекта прогноза, которая в компактной математической форме однозначно и объективно отображает предметную сущность этого объекта и характер процессов, которые протекают как внутри его самого, так и с ним самим при его взаимодействии с другими объектами и окружающей средой. Существуют разные подходы к построению прогнозирующих феноменологических моделей. Наиболее распространенными из них (рис.2.10) являются:

1) создание прогнозирующих моделей по аналогии, т. е. по формальным признакам внешней ситуационной или сущностной схожести поведения объекта прогноза и другого подобного ему объекта по некоторым из таких признаков;

2) создание прогнозирующих индикаторных моделей, т. е. моделей поведения системы или развития в ней определенных

событий после реализации каких-либо конкретных ситуаций или событий в самой этой системе или в других взаимодействующих или просто сосуществующих с ней внешних системах;

3) создание прогнозирующих факторно-предикторных моделей, которые отражают и используют реально существующие непосредственные или опосредованные причинные связи между изменением факторов-причин (предикторов) и поведением зависящих от них параметров состояния (предиктантов), динамику которых необходимо спрогнозировать;

4) создание системных процессно-имитирующих моделей, которые отображают все основные особенности состава, структуры, взаимосвязей и динамики состояний и параметров исследуемых систем и могут причинно обоснованно имитировать поведение, функционирование и развитие этих систем во времени как в целом, так и на уровне основных элементарных актов, реализация которых формирует протекающие в системе сложные процессы.

Рассмотрим основные особенности перечисленных подходов к созданию прогнозирующих феноменологических моделей.

**Прогнозирование по аналогии.** Прогнозирование по аналогии – это построение прогнозирующей модели объекта на основе использования подобия в характерных особенностях поведения, функционирования или развития прогнозируемого и какого-либо другого объекта, считающегося вследствие наличия такого подобия его аналогом. Иницирующим импульсом для использования принципа аналогичности чаще всего бывает внешнее сходство в поведении объекта прогноза и другого объекта или сходство динамики параметров, которые характеризуют состояние и особенности функционирования этих объектов.

Примером применения такого внешнего сходства является выбор для прогноза временного ряда экономического показателя любой из моделей (2.18) – (2.30), график которой оказывается подобным графику изменения во времени этого показателя. При создании событийных или ситуационных прогнозов таким иницирующим импульсом выступает ситуационная схожесть развития событий в прогнозируемой системе и в аналогичной ей другой системе, которая уже находилась в подобной ситуации, и ее модель поведения может помочь предвидеть ход событий в прогнозируемой системе.

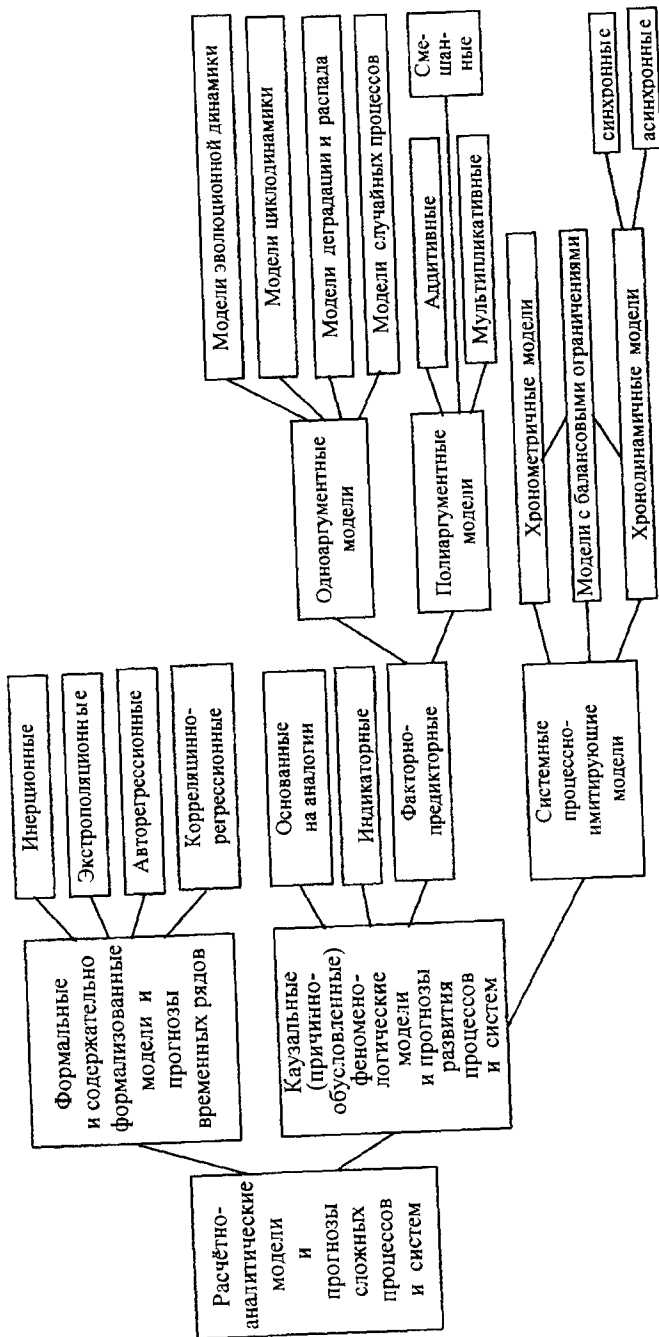


Рис. 2.10. Детализированная классификационная схема расчётно - аналитических моделей и прогнозов сложных процессов и систем

Примером прогнозов по аналогии являются прогнозы развития заболеваемости и затрат на лечение населения на пораженных Чернобыльской катастрофой территориях Украины по моделям, описывающим динамику заболеваемости населения, пораженного радиацией после бомбардировки Хиросимы и после больших радиационных аварий на ядерных объектах бывшего Советского Союза и США.

К прогнозам по аналогии можно отнести также прогнозы развития всей совокупности объектов определенного вида путем использования для этого моделей, которые описывают и успешно прогнозируют поведение отдельных представителей этой совокупности. В основе построения таких моделей лежит свойство фрактальности или самоподобия объектов и явлений определенного вида на различных масштабных уровнях их агрегации.

Конкретным примером такого рода моделей является модель роста во времени скорости транспортных средств в целом, которая повторяет основные черты развития во времени скорости отдельных видов транспорта, но в значительно большем диапазоне скоростей. Такое сходство характерно и для многих других показателей отдельных видов технических средств (энергии ускорителей элементарных частиц, памяти и быстродействия компьютеров и пр.), что давно и успешно используется при прогнозировании научно-технического прогресса.

Для создания математической модели изменения во времени параметров всей агрегированной совокупности однородных по определенному признаку объектов используется графоаналитический метод построения огибающей кривой, которая проводится как касательная ко всему множеству кривых изменения во времени этих же параметров отдельных объектов рассматриваемой совокупности. Метод огибающих кривых может успешно применяться и для прогнозирования эволюционного развития экономических систем или их объектов, а также для прогноза процессов циклического изменения параметров их состояния во времени.

Однако наиболее общими и достаточно эффективными математическими моделями эволюционного развития являются S-образные логистические кривые, которые способны успешно отображать как основные этапы развития любой системы или ее отдельных компонент, так и характерные особенности изменения параметров их состояния на этих этапах. Основными такими этапами являются: сначала медленное, а затем ускоренное (с переходом в быстрое экспоненциальное) возращание; достижение точки перегиба,

которая отображает кульминационный момент развития; после чего рост замедляется и сменяется замедленным возрастанием с постепенно падающим темпом роста, который довольно быстро почти прекращается, после чего наступает фаза насыщения, определяющая предел роста параметра системы, характеризующего ее эволюционное развитие.

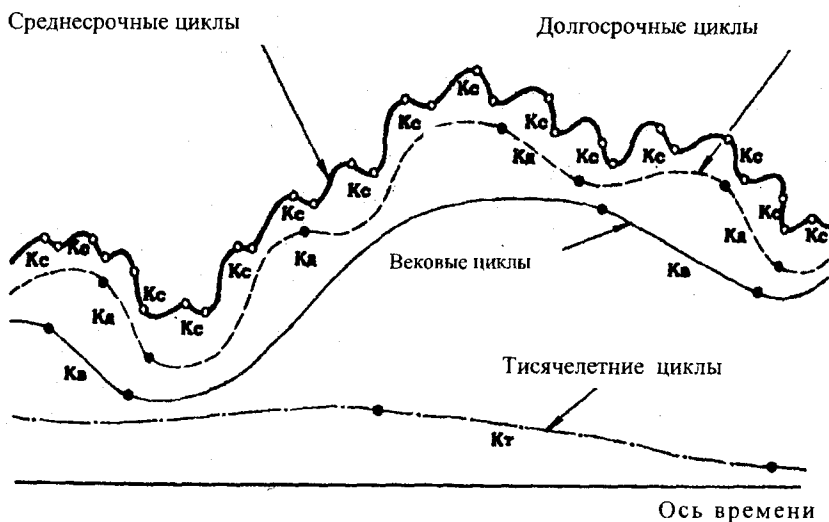


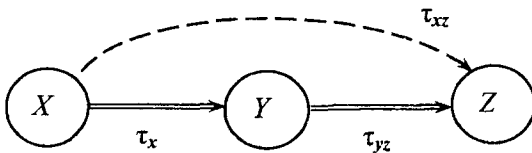
Рис. 2.11. Условное изображение системы разнопериодных циклов и их эволюторно-циклических огибающих

Исторически S-образные логистические кривые как математические модели эволюционного развития впервые были разработаны и использованы в биологии, а затем по аналогии нашли широкое применение во многих других сферах, в частности, при анализе и прогнозе развития научно-технических и социально-экономических систем. Такие S-образные кривые как для отдельных видов объектов, так и для их типовых совокупностей были успешно использованы для прогноза динамики технических параметров и функциональных характеристик продукции, выпускаемой многими фирмами при планировании их экономического и научно-технического развития [32].

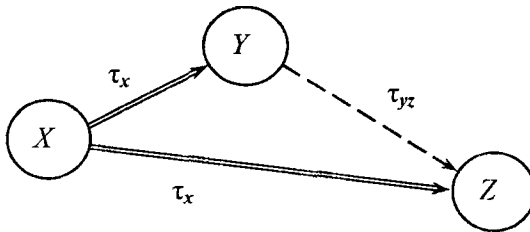
Наглядное представление о применении метода огибающих кривых для анализа и прогноза циклического развития сложных систем дает рис.2.11, на котором условно представлена цикличность

смен кризисов и возрождений в историческом развитии больших естественных и экологических систем на временных интервалах различных исторических масштабов.

**Прогнозирование по опережающим индикаторам.** Прогнозы по опережающим индикаторам – это прогнозы осуществления определенных событий, ситуаций или изменений в поведении объектов либо в динамике показателей одной системы по опережающим их с некоторым упреждением (заблаговременностью  $\tau$ ) конкретным событиям, ситуациям или изменениям в поведении объектов и показателей другой системы. Такие опережающие события или ситуации используются обычно в качестве прогнозных индикаторов, при реализации которых можно достоверно или с некоторой достаточно большой вероятностью ( $0,8 \leq p \leq 1$ ) предвидеть поведение одной системы (объекта прогноза) по событиям во второй (объекте-индикаторе).



a



b

Рис. 2.12. Примеры схем возможного использования опережающих индикаторов в целях прогноза

Объективной основой успешности прогнозов по опережающим индикаторам является наличие либо непосредственного или опосредованного причинного влияния объекта-индикатора на объект

прогноза, либо синхронная или асинхронная (с некоторым сдвигом по фазе) совместная зависимость поведения этих объектов от одной общей для них причины, которая может быть и неизвестной. Примеры схем возможного использования опережающих индикаторов в целях прогноза представлены на рис. 2.12.

Событие  $X$ , является прогнозирующим индикатором реализации события  $Z$  при реально существующих, но неизвестных причинных связях  $X \Longrightarrow Y$  и  $Y \Longrightarrow Z$  (см.рис.2.12, а).

Событие  $Y$  является прогнозирующим индикатором реализации события  $Z$  при реально существующих, но неизвестных причинных связях  $X \Longrightarrow Y$  и  $Y \Longrightarrow Z$  (см.рис.2.12, б).

Соответствующие этим схемам запаздывания  $\tau$  удовлетворяют соотношениям  $\tau_{xz} = \tau_{xy} + \tau_{yz}$  в схеме на рис.2.12а и  $\tau_{yz} = \tau_{xz} - \tau_{xy}$  в схеме на рис.2.12б.

Иногда опережающим индикатором может быть реализация какой-то определенной фазы эволюционного или циклического развития объекта-индикатора или его показателя. Одним из таких опережающих индикаторов являются годы наступления минимумов и максимумов 11-летних циклов солнечной активности, которые могут быть точно известны не менее чем за год до их фактической реализации, и относительно которых через определенное количество лет (от 1 до 5) на территории отдельных больших регионов регулярно развиваются существенно влияющие на функционирование больших технических объектов и даже отдельных областей экономики естественные аномалии. Примерами [33] таких естественных аномалий являются:

1) высокая водность Днепра и обусловленная ею высокая выработка гидроэлектроэнергии каскадом Днепровских ГЭС в первый год после года максимума 11-летнего цикла солнечной активности, а также очень низкая водность и значительное недопроизводство гидроэлектроэнергии в каждый третий год после года максимума солнечной активности;

2) наступление преимущественно теплых зим и низкого энергопотребления в каждый год минимума 11-летнего солнечного цикла, а также очень холодных и длинных зим и повышенной потребности в топливе и электроэнергии в каждый второй год после его максимума;

3) характерные для отдельных фаз 11-летнего цикла солнечной активности и 19-летнего лунного приливного цикла неблагоприятные

погодные условия для выращивания зерновых и технических культур в Украине, которые могут отрицательно влиять не только на состояние отдельных выращивающих и потребляющих эти культуры отраслей, но и на всю экономику государства в целом.

Кроме приведенных довольно экзотических примеров прогнозирования по опережающим индикаторам, этот метод успешно применяется и при прогнозировании циклов развития экономической активности на уровне как макроэкономических, так и микроэкономических показателей. Так, известны удачные попытки прогнозирования торговых операций по опережающему их возрастанию падению кривой займов и роста кривой биржевой активности и т.п. [18,32]. Практика прогностического использования опережающих индикаторов показала, что для экономического прогнозирования целесообразнее использовать не ряды отдельных экономических показателей, а рассчитанные по ним их модификации и специальные индексы: темповые, структурные, удельного веса, эластичности и пр. Для этих целей в ежемесячном английском экономическом журнале "Economic Trends" публикуются специальные индексные индикаторы, которые используются для экономического прогнозирования с заблаговременностью от 5 до 12 месяцев. Технология такого использования базируется на создании по этим индексам средствами математической статистики корреляционно-регрессионных и факторных моделей, опыт использования которых показал их достаточно высокую прогностическую эффективность.

Следует отметить, что методы прогнозирования по аналогии и по опережающим индикаторам относятся не столько к математическим средствам экономического прогнозирования, сколько к методологии подбора прогнозирующих факторов и выбора типа и характера математической модели, пригодной для использования в целях прогноза. Поэтому, учитывая большую значимость методологических аспектов для решения задач прогнозирования сложных экономических процессов и систем, эти методы прогноза и были кратко рассмотрены выше.

*Каузальное прогнозирование сложных процессов и систем по их факторно-предикторным моделям.*

В отличие от формальных и содержательно формализованных математических моделей, которые для большей уверенности в успешности их практического применения требуют хотя бы какой-то содержательной предметной интерпретации, каузальные феноменологические факторно-предикторные модели с самого начала



создаются, исходя из математической формализации уже имеющихся конкретных знаний или достаточно четких представлений о строении, особенностях функционирования, внутрисистемных и межсистемных связях прогнозируемого объекта и о действии на него различных факторов со стороны взаимодействующих с ним внешних систем и окружающей среды. Все каузальные факторно-предикторные модели условно можно разделить на две основные категории (рис. 2.10): **одноаргументные** – функции только времени или только одного зависящего от времени фактора и **полиаргументные** – функции времени и ряда других факторов, которые также могут зависеть от времени и друг от друга. Рассмотрим основные характерные особенности и прогностические возможности каждой из этих категорий прогнозных моделей.

Простейшими из этих видов моделей являются одноаргументные модели временной динамики экономических показателей, в которых эти показатели представляются функциями только времени. Такие модели довольно хорошо описывают и прогнозируют основные распространенные в природе и обществе процессы эволюционного развития (в целом или его отдельных фаз), циклической динамики, деградации и распада и стохастические процессы.

#### *Одноаргументные прогнозно-аналитические модели*

**Эволюционные прогностические модели.** Модели эволюционного типа в абстрактной математической форме описывают широко распространенные в различных предметных областях (от биологии и медицины до техники и экономики) процессы эволюционного развития как целых систем, так и отдельных их подсистем и компонент. В этих процессах всегда выделяют такие их характерные фазы, как начало развития, интенсивное развитие, пик развития, затухание развития и его конец. Для моделирования и прогноза процессов такого типа наиболее подходят логистические функции, простейшей из которых является обычная логиста

$$Y(t) = Y_0 / (1 + A * e^{-B*t}), \quad (2.73)$$

где  $Y(t)$  – общее количество элементов или объектов в системе в момент  $t$ ;  $Y_0$  – уровень насыщенности или предельное значение этого количества, которое не может быть превышено из-за ресурсных ограничений роста системы;  $A$  – константа, которая определяет положение кривой во времени (сдвиг вправо или влево вдоль оси  $t$ );  $B$  – наклон кривой.

Функция (2.73) начинается в момент  $t = 0$  со значения  $Y_0$ , она симметрична и имеет точку перегиба  $k$  при координатах  $t_k = \ln A / B$  и  $Y_k = Y_0 / B$ . В целом логистическая кривая отображает такой процесс развития системы, когда при постоянной рождаемости ее элементов имеет место линейное возрастание их смертности, которое пропорционально имеющейся численности этих элементов. Физически это нелинейный процесс, который описывается дифференциальным уравнением

$$dY/dt = Y * (B - \gamma * t), \quad (2.74)$$

полученным дифференцированием логисты (2.73), и в котором

$$\gamma = \frac{B}{A} \cdot \frac{1}{Y(0)}, \quad \text{где } Y(0) = \frac{Y_0}{1 + A}. \quad (2.75)$$

Частные случаи описываются упрощенными вариантами формулы логисты, которые представляют отдельные фазы процесса развития. Так, при малых  $t$  (на начальном интенсивном этапе) это развитие довольно точно описывается экспоненциальной функцией

$$Y(t) = Y_0 * e^{-B * t / A}, \quad (2.76)$$

а при больших  $t$ , т. е. "в старости" – константой  $Y(t) = Y_0$ , и пр. Логистическая функция может применяться при прогнозировании роста населения (при определенных условиях), роста выпуска отдельных видов продукции, развития научно-технического прогресса и в ряде других случаев. Примерами логистической функции являются:

1) **модель Риденура** для оценки степени признания обществом какого-либо вида продукции (она нужна для прогноза спроса):

$$L(t) = L_{\max} / \{ 1 + [ L_{\max} / L(0) - 1 ] * \exp(-A * t) \}, \quad (2.77)$$

где  $L$  – численность потребителей продукции,  $L_{\max}$  – максимально возможное количество таких потребителей,  $L(0)$  – реальное количество их в начальный момент, а коэффициент  $A$  – вероятность того, что человек, который впервые ознакомился с этой продукцией, станет ее потенциальным потребителем;

2) **модель Гартмана** для оценки количества научной информации, накопленной на момент  $t$  в некоторой научной области:

$$I(t) = I_0 \{ \exp[(A * L_0 / \alpha) * \exp(\alpha * t) - 1] \} \quad (2.78)$$

где  $I_0$  – начальное количество этой информации,  $L_0$  – численность ученых в начале исследований в этой области,  $\alpha$  – константа,  $A$  – вероятность того, что ученый, который встретил "единицу" информации, сгенерирует после ее получения новую "единицу" информации;

### 3) модель Холтона

$$I(t) = I_0 / \{ 1 + [ (I_{\max} / I(0)) - 1 ] * \exp(-A * L(t)) \}, \quad (2.79)$$

в которой  $A$  – вероятность "реакции" ученого в виде генерации новой в данной области идеи постепенно уменьшается из-за ограниченности общего количества возможной информации в любой конкретной области.

Для прогнозирования по моделям эволюционного типа, единственным аргументом которых является время, необходимо сначала определить значения ее параметров, которые могут быть найдены или статистической обработкой эмпирических данных, или экспертным путем соответствующими высококвалифицированными специалистами (экспертами).

**Модели роста и спада.** Частными случаями модели эволюционного развития являются модели роста, описывающие динамику однонаправленного увеличения параметров состояния моделируемого объекта в фазе его прогрессирующего развития, и модели спада, описывающие динамику однонаправленного уменьшения этих параметров в фазе затухания развития объекта. Чаще всего в качестве таких моделей используются рассмотренные выше наиболее употребительные функциональные модели (2.16) – (2.28) временных рядов  $Y=F(t)$  экономических показателей при тех значениях параметров этих моделей, которые исключают смену направленности изменения прогнозируемого показателя в пределах рассматриваемого или прогнозируемого временного интервала.

Однако, учитывая конечность размеров и времени существования окружающих нас реальных объектов и систем и физическую ограниченность возможных значений параметров, которые характеризуют их состояние и свойства, следует ожидать, что никакое однонаправленное изменение (рост или падение) этих параметров не может длиться бесконечно долго и рано или поздно либо прекратится, либо сменится на противоположное, либо приведет к неустойчивости и разрушению системы. Поэтому параметры состояния большинства длительно и устойчиво функционирующих систем испытывают во временных рамках своего существования преимущественно циклические изменения, а цикличность все чаще позиционируется

современной наукой как единая всеобъемлющая форма проявления временной динамики параметров состояния природной среды, общества и всех производственно-технологических, эколого-экономических и социальных систем, что отражает сущность быстро утверждающей себя в современном научном мировоззрении парадигмы цикличности.

В рамках этой парадигмы все наблюдаемые однонаправленные изменения параметров окружающих нас реальных систем рассматриваются лишь как текущие фазы одного из тех циклических колебаний, период которого существенно превышает длительность наблюдаемого эволюторного изменения. В частности, как свидетельствует вся история развития социальных, экономических, природно-экологических, научно-технических и других больших систем, это развитие на протяжении достаточно больших временных интервалов никогда не бывает однонаправленным и изменение во времени их основных параметров всегда имеет циклический характер: после фазы интенсивного роста всегда наступает фаза замедленного возрастания, завершающегося фазой максимума, которая сменяется фазой сначала ускоренного, а затем замедленного уменьшения до полного минимума, после чего снова наступает фаза очередного сначала постепенного, а затем интенсивного роста и так далее. Поэтому для анализа и прогноза циклически изменяющихся объектов и параметров их состояния необходимо использовать адекватно описывающие их поведение модели циклодинамики.

**Модели циклических процессов.** Внешне цикличность, или циклодинамика, проявляет себя в окружающем нас мире в виде регулярной временной и пространственной повторяемости одинаковых или подобных по ряду признаков элементов системы, их состояний и свойств, или повторяемости близких по своим значениям количественных характеристик этих элементов и системы в целом.

Как правило, динамика больших естественных, экологических, социально-экономических и любых других сложных систем полициклическа и характеризуется наличием множества наложенных друг на друга и часто взаимосвязанных циклических колебаний с разными периодами и амплитудами. Примерами такой полициклическости в неживой природе является цикличность многотысячелетних и многовековых климатических циклов и связанных с ними циклов оледенений и потеплений, которые привели в свою очередь к имеющей большое практическое значение цикличности залегания многообразных осадочных геологических отложений и пр.

Как выяснилось, все эти циклы обусловлены в значительной степени галактической цикличностью параметров солнечной системы (циклы Миланкевича), гелиофизических процессов Солнца и космофизических процессов околоземного и околосолнечного космического пространства. В земной биосфере примерами такой полицикличности являются годовая 12-месячная, сезонная, 28-дневная месячная и 24-часовая суточная цикличность жизненных ритмов человека и преобладающего большинства представителей животного и растительного мира, как на земной поверхности так и в океане.

В общественной жизни, кроме управляющих всей производственной и деловой деятельностью сезонного и суточного ритмов, значительный и важный вклад в ее полицикличность вносят вложенные друг в друга многовековые циклы изменения социально-экономических формаций, длинные волны Кондратьева, циклы смены технических укладов, индексов экономического развития, циклы конъюнктуры, цен, которые также частично связаны с некоторыми космо-геофизическими и солнечными циклами и такими биологическими параметрами человека (основного элемента любого социума), как продолжительность его жизни, периоды трудоспособности, творческой активности, способности к продолжению рода и т.п. В производственной сфере полицикличность проявляется в виде вложенных друг в друга организационных циклов и наложенных на них многолетних циклов смены технических укладов и разнообразных погодно-климатических циклов, которые разными путями могут влиять на динамику спроса и производства сельскохозяйственной и другой продукции, тепловой и электрической энергии и многих видов товаров и услуг.

Как уже упоминалось выше, в долговременной динамике характеристик  $X(t)$  производственно-экономических, социально-экономических и любых больших и сложных систем вообще почти всегда можно выделить три основных составляющих: эволюторную  $E(t)$ , циклическую  $C(t)$  и стохастическую  $S(t)$ . Эволюторная составляющая  $E(t)$  характеристики  $X(t)$  системы характеризует ее плавные однонаправленные изменения в сторону роста или падения, циклическая  $C(t)$  – поочередно сменяющие друг друга возрастание и уменьшение этой характеристики, которые порождают ее колебания с относительно стабильными периодами  $L$  и амплитудами  $A$ , а стохастическая  $S(t)$  – ее случайные хаотические флуктуации с переменными во времени периодами и амплитудами.

Количественно цикличность характеризуется тремя параметрами: периодом  $L$ , фазой  $\Phi$  и фазовой амплитудой  $A(\Phi)$ , каждый из которых является мерой проявления ее определенных особенностей и может иметь вид как непрерывных, так и дискретных изменений. Основным и наиболее важным параметром цикличности является период цикла  $L$ , который характеризует регулярность повторяемости формирующих его элементов и измеряется единицами длины при пространственном ее проявлении или единицами времени при временном. Важным, хотя и вспомогательным параметром всякого циклического процесса является его текущая фаза  $\Phi(t)$ , которая характеризует пространственную или временную отдаленность текущего этапа развития этого процесса от начала его возникновения и измеряется обычно или в абсолютных единицах (тех же, что и основной параметр цикличности – его период  $L$ ), или в относительных единицах – долях  $r(t) = \Phi(t) / L$  этого периода.

Еще одной важной характеристикой любого циклического процесса  $X(t)$  является его фазовая функция  $X(\Phi)$ , которая является обобщением общеизвестного понятия амплитуды гармонического колебания и характеризует распределение дискретных состояний  $S$  или непрерывных значений  $Y$  некоторого параметра этого процесса по фазам  $\Phi$  его циклического развития. Такие привязанные к конкретным фазам  $\Phi(t)$  циклического процесса  $X(t)$  его дискретные состояния  $S(\Phi(t))$  или действительные значения  $A(\Phi(t))$  называются его фазовыми состояниями или фазовыми амплитудами соответственно.

Как период  $L$  циклического процесса  $X(t)$ , так и его фазовая функция  $X(\Phi)$  или  $X(r)$  могут проявляться различным образом: принимать дискретные или непрерывные значения, быть стационарными или нестационарными, носить как детерминированный, так и случайный недетерминированный характер. Различные комбинации возможных особенностей поведения периода и фазовой функции циклического процесса порождают большое и богатое видами и разновидностями разнообразие классов таких процессов, особенно процессов полициклических, различные циклические составляющие которых могут отличаться разными особенностями проявления их периодов и фазовых функций.

Не касаясь сложной и многоаспектной проблемы классификации циклических процессов, отметим лишь, что при разработке каузальных моделей циклодинамики необходимо помимо внешних особенностей ее проявления учитывать происхождение и физическую

природу порождающего эту динамику процесса. По своему происхождению циклодинамика большинства связанных с энергетикой сложных систем (природно-экологических, производственно-технологических, социально-экономических и др.) [33,34] может быть разделена на две разные по своей сущности и природе части: экзогенную, порождаемую цикличностью воздействия на эти системы и саму энергетикку внешних факторов, и эндогенную, обусловленную особенностями развития, структурной организации и логики функционирования этих систем и образующих их компонент.

Примерами экзогенной циклодинамики, порождаемой изменением дня и ночи и изменением времен года, являются:

- суточные и сезонные циклы гидрометеорологических явлений, а также ритмы жизнедеятельности биосферы (в том числе человека) и функционирования зависящих от этих циклов и ритмов многих хозяйственных систем;

- обусловленные гравитационным действием Луны и Солнца многообразные приливные циклы и зависящие от них циклы протекания многих жизненно важных функций в организмах растений, животных и человека;

- некоторые вынужденные колебания и резонансные явления, порождаемые в различных естественных и технических системах действующими на них циклически изменяющимися внешними силами;

- обусловленные 11-летним, 22-летним и другими циклами солнечной активности аналогичные им циклы изменения параметров таких общепланетарных геофизических процессов, как циркуляция атмосферы, колебания климата, формирования речного стока, изменения уровня подземных вод, тектонические явления, жизненная активность биосферы и отдельных составляющих ее подсистем и организмов и, даже, отдельные проявления социально-политической и производственно-экономической жизни общества.

При всей важности экзогенной циклодинамики наиболее важной является циклодинамика эндогенная, которая является первопричиной всех проявлений цикличности в окружающем нас мире вообще, и механизмы возникновения которой еще ожидают своего выявления, научной классификации и исследования. Основными видами эндогенной циклодинамики с уже известными механизмами их возникновения являются такие широко распространенные в окружающем нас мире формы цикличности, как *осцилляторная, ротационная,*

*круговоротная, контурная, организационная, пороговая и онто-филогенетическая.*

Характерной особенностью осциляторной цикличности является последовательная смена одним другим двух состояний объекта или двух противоположных направлений его движения или изменения какого-либо его свойства, а периодом  $L$  этой цикличности является длина интервала времени между моментом выхода объекта из любого альтернативного исходного состояния и моментом его возвращения в это же состояние.

Одним из важнейших видов эндогенной цикличности является цикличность ротационная, порождаемая осевыми и орбитальными вращениями Солнца, Земли, Луны и других космических объектов. Она является экзогенной первопричиной суточной и сезонной циклодинамики как в биологической, так и во всей хозяйственной и социальной жизни на нашей планете, а значит, и в функционировании большинства ее производственно-технических и эколого-экономических систем. Периоды ротационной цикличности определяются временами полного обращения объектов (в нашем случае – астрономических) вокруг своей оси или временами их полного оборота по своей орбите.

Важным и широко распространенным в природе механизмом эндогенной циклодинамики является круговоротная цикличность, которая проявляется в наличии в сложных системах замкнутых циклов движения материи, энергии, информации или любых других субстанций. Примерами такой круговоротной цикличности является общеизвестный круговорот воды в природе; круговороты ряда необходимых для жизни биосферы элементов, таких, как кислород, углерод, азот и фосфор; круговорот радионуклидов и различных микроэлементов в замкнутых биоценозах; круговорот сырья (металлов), многократно используемого для производства продукции, которая может быть легко утилизирована после ее использования, и тому подобное. Периодом  $L$  любого круговоротного цикла является время  $T$ , необходимое для прохождения принимающей в нем участие субстанцией ряда сменяющих друг друга ее состояний при переходах этой субстанции из некоторого исходного состояния в конечное, из которого она со временем опять возвращается в свое исходное состояние.

Из эндогенных причин важнейшей является широкое распространение в большинстве естественных, технических и социально-



экономических системах замкнутых контуров отрицательной обратной связи (рис.2.13) с запаздыванием  $\tau$ .

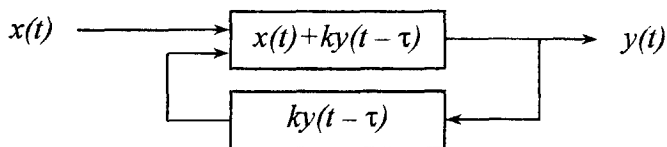


Рис.2.13. Элементарный замкнутый контур обратной связи

В зависимости от величины отрицательного коэффициента  $k$  этой связи в системе возникают или затухающие (при  $-1 < k < 0$ ), или постоянные (при  $k = 1$ ), или возрастающие (при  $k < -1$ ) по амплитуде циклические колебания с периодом  $L$ , который равен удвоенному интервалу запаздывания  $\tau$ . Именно этот механизм действия обратной связи может быть причиной возникновения циклических колебаний многих характеристик хозяйственно-экономической деятельности. Примерами таких колебаний являются колебания цен, циклы предложения и спроса на товары и услуги, волны инвестиционной активности, витки инфляции и пр. Наличие отрицательных обратных связей в биосфере порождает циклические колебания численности живых организмов в таких имеющих эти связи типах систем, как система конкурирующих (по продуктам питания) видов, система типа “паразит – хозяин” или “хищник – жертва”. Аналогичные биосферным типы циклов (в том числе и конкурентные), обусловленные наличием в системе контуров отрицательной обратной связи, могут возникать и в человеческих сообществах на всех уровнях их социальной и производственно-экономической организации.

Следует отметить, что наличие в системе контуров не отрицательной, а положительной обратной связи ( $k > 0$ ) может привести к ускоренному однонаправленному изменению входящих в эти контуры параметров  $Y(t)$  состояния системы, вследствие чего с течением времени могут возникнуть в ней кризисные ситуации. Примерами таких ситуаций являются витки инфляции и вспышки безработицы, которые при достижении ими критических уровней могут привести к социальному взрыву, созданию в государстве крайне нестабильной ситуации и даже разрушения виновной в этом политической системы.

Кроме эволюционно-циклической динамики различных характеристик социально организованных человеческих сообществ, в них

имеют место и особенные, присущие только разумным целеполагающим системам, организационные циклы, обусловленные соображениями удобства управления системой или необходимостью создания для ее социальных компонент или членов социума достаточно комфортных условий жизни, работы и пр. Примерами таких организационных циклов являются циклы месячного, квартального, годового и пятилетнего планирования, недельные циклы пятидневной работы и двухдневного отдыха населения, годовые циклы ежегодного сезонного отдыха или празднования отдельных знаменательных дат религиозной, национальной или государственной направленности и пр.

Одним из достаточно широко распространенных механизмов возникновения цикличности являются также различные пороговые явления и процессы, которые возникают при непрерывном поступлении вещества, энергии или информации в ограниченные емкости приемников-накопителей, которые опоражниваются или сбрасывают сразу же после их наполнения. Период  $L$  пороговой цикличности зависит от объема  $Q$  этой емкости, скоростей ее наполнения  $V_H$  и опорожнения  $V_O$  и определяется формулой

$$L = Q / V_H + Q / (V_O - V_H), \quad (2.80)$$

где  $V_O > V_H$ .

В экономике элементами таких порождающих циклы механизмов являются движение денежных и товарных масс, уровни спроса и предложения товаров и услуг, ограниченность трудовых, материальных и других ресурсов, емкость рынков и пр.

В историческом плане наиболее важным механизмом возникновения циклодинамики эколого-экономических систем является онтофилогенез, который проявляет себя в цикличности воспроизведения и эволюционного развития самовоспроизводящихся систем и составляющих их подсистем и объектов. Примерами таких систем являются: в экологии – биоценозы и формирующие их живые организмы; в социологии, экономике и производстве – сменяющие друг друга социально-экономические формации и технические уклады; в науке и технике – последовательно сменяющие друг друга парадигмы научного мировоззрения, поколения технических средств разного назначения и пр.

Главной особенностью всех самовоспроизводящихся систем является регулярное воспроизведение в определенной последовательности ряда одних и тех же сменяющих друг друга фаз их

эволюционного развития: зарождения, ускоренного возрастания, замедления и постепенного прекращения этого возрастания, состояния стабильного существования системы, наступления фазы ее угасания и последующей гибели, до наступления которой в недрах системы зарождается ядро новой, сменяющей ее в будущем дочерней системы.

Период  $L$  эволюционной циклодинамики определяется обычно длиной жизненного цикла (интервалом времени от зарождения до гибели) формирующей ее самовоспроизводящейся системы и может или оставаться постоянным, или постепенно изменяться, как это происходит, например, при изменении научно-мировоззренческих парадигм, время доминирования которых с развитием научно-технического прогресса постепенно уменьшается. Изменяться во времени может также и амплитуда  $A$  циклических колебаний. Иначе говоря, и период, и амплитуда этих колебаний могут быть функциями времени  $t$ . Поэтому в самом общем виде их простейшая математическая модель может быть представлена в виде обычной синусоиды с зависящими от времени периодом  $L$  и амплитудой  $A$ :

$$Y(t) = A(t) * \text{Sin}[2\pi * t / L(t)] . \quad (2.81)$$

В отличие от этой простейшей модели в реальных процессах циклы колебаний их характеристик часто бывают несимметричными – тогда при их прогнозе необходимо учитывать эту несимметричность по характерному для каждого конкретного процесса примерно постоянному соотношению между длиной фаз роста и падения прогнозируемого показателя при его изменении от одного минимума или максимума к другому.

Если природа циклических колебаний  $Y$  неизвестна, то при их моделировании значения амплитуды  $A$  и периода  $L$  либо снимаются с построенного по статистическим данным графика  $Y(t)$  изменения  $Y$  во времени, либо определяются методами корреляционного или спектрального анализа временных рядов, а определение параметров описывающих их функций времени  $A(t)$  и  $L(t)$  осуществляется методом наименьших квадратов по наиболее пригодным формулам типа (2.16) – (2.28).

При прогнозировании циклических колебаний экзогенной природы их период  $L$  принимается равным периоду изменения вызывающего их фактора, а при прогнозировании циклов эндогенной природы – периоду изменений, генерируемых порождающим их физическим механизмом. В частности, если таким механизмом

является контур отрицательной обратной связи, то период порождаемых им циклических колебаний оказывается равным удвоенному лагу или запаздыванию  $\tau$  действия этой связи. Подробнее отдельные особенности влияния обратных связей на функционирование и развитие сложных процессов и систем рассматриваются ниже.

**Модели деградации и распада.** Параллельно с процессами прогрессирующего роста как характерной фазы эволюционного развития или фазы циклических колебаний в больших эколого-экономических и научно-технических системах происходят процессы их деградации и упадка, которые внешне проявляются в виде распада и постепенного полного либо временного исчезновения их отдельных подсистем или совокупностей определенных объектов (отдельных технологий, видов техники, услуг, и т.п.), а также процессы отмирания отдельных важных для развития таких систем целых долгоживущих конгломератов их подсистем, например постепенно сменяющих друг друга технологических укладов.

С феноменологической точки зрения такие процессы деградации и постепенного исчезновения можно представлять математической моделью, описывающей процесс радиоактивного распада. Считая, что отдельные однотипные элементы или объекты деградирующей совокупности функционируют, выходят из строя и перестают существовать независимо друг от друга, можно принять, что количество  $dN$ -элементов, которые исчезают за интервал времени  $dt$ , определяется соотношением

$$dN = -q * N * dt, \quad (2.82)$$

где  $N$  – количество таких элементов в момент  $t$ , а  $q$  – характерная для каждого типа элементов константа исчезновения, которая характеризует вероятность выхода из строя и исчезновения таких элементов в определенную единицу времени. Тогда в каждую такую единицу времени из большого количества  $N$  элементов деградируют и исчезнут  $q * N$  их единиц, а количество оставшихся определится функцией

$$N(t) = N_0 * e^{-qt}, \quad (2.83)$$

которая является интегральной формой формализованного каузального соотношения (2.82), и в которой  $N_0$  – начальное количество элементов деградирующей совокупности в некоторый начальный момент  $t = 0$ . Для прогноза поведения деградирующей системы, в частности для определения времени ее полного или частичного исчезновения, важно знать такую характеристику деградации, как

период полураспада  $T_{1/2}$ , определяющий время, за которое исчезает половина начального количества деградирующих элементов. Величина этого периода определяется соотношением

$$0,5 * N_0 = N_0 * \exp(-q * T_{1/2}), \quad (2.84)$$

откуда

$$T_{1/2} = \ln 2 / q = 0,683 / q. \quad (2.85)$$

Модели (2.82), (2.83) были эффективно использованы нами для оценки и прогноза очищения загрязненных чернoбыльскими радионуклидами территорий Украины с учетом как процесса радиоактивного распада этих радионуклидов, так и природных факторов их миграционного выноса водными, воздушными и другими естественными потоками из зоны их первичного выпадения. Как показали выполненные исследования [35], для большей части производственно-селитебных и урбанизированных территорий практически полного очищения верхнего слоя их почвы от чернoбыльских радионуклидов цезия-137 и стронция-90 можно ожидать уже через 100–60 лет, а для некоторых – и через 50–30 лет вместо спрогнозированных только по закону радиоактивного распада трех столетий.

Если деградирующая совокупность состоит из нескольких разнородных типовых элементов, например основных парков технических средств деградирующего технологического уклада, с начальными их количествами  $N_1, N_2, \dots, N_K$  и константами исчезновения  $q_1, q_2, \dots, q_K$  (их нетрудно оценить по соответствующим статистическим данным), то общее количество элементов этой совокупности, которое еще будет существовать в момент  $t$ , определится в соответствии с соотношением (2.83) формулой

$$N = \sum_{i=1}^K N_i * e^{-q_i t}. \quad (2.86)$$

Поскольку в реальных длительно существующих и эволюционирующих социально-экономических системах параллельно или сменяя друг друга протекают процессы и прогрессивного развития, и циклических колебаний, и деградации и распада, то совместное использование их моделей может стать одним из эффективных средств решения многих задач анализа и прогноза развития научно-технического прогресса и смены технологических укладов как в

отдельных отраслях экономики (например, в энергетике), так и в экономике в целом.

### **Полиаргументные факторно-предикторные модели**

Под такими моделями имеют в виду *каузальные* (причинно обоснованные) и *содержательно интерпретируемые* математические модели связи отдельных показателей экономической системы с причинно (непосредственно или опосредствованно) влияющими на них другими показателями той же системы или показателями взаимодействующих с ней внешних систем или факторов окружающей среды. Эти другие показатели и факторы выступают в роли зависящих от времени аргументов (предикторов), знание или прогнозы будущих значений которых позволяют прогнозировать динамику изменения зависимых от них показателей (предиктантов). Полиаргументные факторно-предикторные модели имеют обычно одну из трех форм:

аддитивную

$$Y(t) = \sum_{i=1}^N A_i * F[X_i(t)] , \quad (2.87)$$

куда функции  $F_i$  от отдельных аргументов – предикторов  $X_i(t)$  входят как элементы суммы;

мультипликативную

$$Y(t) = \prod_{i=1}^N F[X_i(t)] , \quad (2.88)$$

куда они входят как сомножители ( $M$  – символ почленного умножения);

смешанную, представляющую собой сумму двух или более мультипликативных форм.

Аддитивная форма прогнозных моделей применяется в большинстве методов прямых планово-прогнозных расчетов будущих потребностей в ресурсах, финансовых затрат, объемов производства отдельных видов продукции и пр. Кроме того, эта форма может использоваться и при построении методом наименьших квадратов линейно-функциональных моделей предиктантов  $Y$  с предикторами  $X_i$ , состав которых определяют не формальными методами корреляционно-регрессионного или факторного анализа, а на основе глубокого сущностного исследования процессов в системе и действующих в ней причинно-следственных связей между ее состояниями и характеризующими эти состояния параметрами.

Примером прогностической модели адитивного типа может быть модель прогноза продажи стиральных машин

$$Y = A_0 + A_1 * X_1 + A_2 * X_2 + A_3 * X_3 + A_4 * X_4 + A_5 * t, \quad (2.89)$$

где  $Y$  – реализованный спрос на душу населения,  $X_1$  – денежный доход на душу населения,  $X_2$  – средняя розничная цена,  $X_3$  – объем услуг прачечных в расчете на душу населения,  $X_4$  – обеспеченность населения отдельными видами товаров долгосрочного пользования,  $t$  – время,  $A_0$  – значение  $Y$  в момент  $t = 0$ ,  $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5$  – линейные коэффициенты.

В практике прогностико-аналитических исследований широко используются также и модели мультипликативного типа, которые в большинстве случаев применяются в виде так называемых производственных функций. Одной из первых таких функций была производственная функция Коба-Дугласа, которая связывала между собой объем выпускаемой продукции  $Y_t$  в момент  $t$  с объемом производственных фондов  $F_t$  и численностью занятых рабочих  $Z_t$  в этот же момент:

$$Y_t = K * F_t^\alpha * Z_t^\beta, \quad (2.90)$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  – коэффициенты эластичности, которые характеризуют соотношение темпов роста  $Y$  с темпами роста  $F$  и  $Z$  соответственно (при этом  $\alpha + \beta = 1$ ), а  $K$  – постоянный член, характеризующий общий масштаб производства.

Для учета влияния научно-технического прогресса, который независимо от  $F$  и  $Z$  способствует дополнительному увеличению объемов производства  $Y$  во времени, голландским ученым Я.Тимбергеном в производственную функцию Коба-Дугласа через дополнительный множитель  $e^{\delta t}$  был введен фактор времени  $t$ , вследствие чего она приняла вид

$$Y_t = K * F_t^\alpha * Z_t^\beta * e^{\delta t}. \quad (2.91)$$

Более точной формой учета влияния на производство научно-технического прогресса временного фактора является динамическая модификация производственной функции

$$Y_t = K(t) * F_t^{\alpha(t)} * Z_t^{\beta(t)}, \quad (2.92)$$

в которой коэффициенты  $K$ ,  $F$  и  $Z$  являются явными функциями времени  $t$ , и их конкретные значения определяются статистическим анализом по скользящим интервалам временных рядов  $Y_t, F_t$  и  $Z_t$ .

Иногда применяется также трехпараметрическая производственная функция

$$Y_t = K * F_t^\alpha * Z_t^\beta * e^{\pi * t + \gamma * t}, \quad (2.93)$$

где  $\pi$  аккумулирует в себе интенсивную составляющую изменения численности рабочих за счет повышения их квалификации под действием НТП и других факторов, а  $\gamma$  характеризует рост производительности труда под влиянием НТП и других факторов.

В производственной функции С.М.Вишнева дополнительно учитывается влияние на рост производства  $Y_t$  затрат на образование и повышение квалификации, затрат  $Q$  и  $G$  на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИР и ОКР), а также лаги (запаздывания) их влияний на  $Y_t$  от года к году и выше для образования и от нескольких лет до десятилетий для НИР и ОКР:

$$Y_t = A * F^\alpha * Z^\beta * Q^\gamma * G^\mu. \quad (2.94)$$

Следует заметить, что выраженное в виде производственной функции содержательно обоснованное влияние на  $Y$  факторов  $F$ ,  $Z$ ,  $Q$ , и  $G$  отображает не действительно строгую функциональную зависимость  $Y$  от этих факторов, а лишь указывает на близкую к реальности корреляционную зависимость между этими величинами в выбранном классе функций.

На практике при моделировании и прогнозировании поведения сложных процессов и систем нередко используется и смешанная форма полиаргументной факторно-предикторной модели, представляющая собой сумму мультипликативных моделей. Примером такой модели в энергетике является модель изменения во времени  $t$  потребления энергии на отопление жилых и производственных зданий города на протяжении отопительного сезона, которая определяется зависимостью:

$$E(t) = \sum_1^{n(t)} m_i * W_i * q_i * [k_1 * D_{от,ср} * (T_i - T_{нар,ср}) + k_2 * D_{ветр,ср} * V^2 * (T_i - T_{ветр,ср})], \quad (2.95)$$

где  $i$  – индекс типа здания;  $n(t)$  – изменяющееся со временем количество таких типов,  $W_i$ ,  $q_i$ ,  $t_i$  – объем, удельная тепловая характеристика и температура внутреннего воздуха в зданиях  $i$ -го типа,  $m_i(t)$  – количество таких зданий;  $T_{нар,ср}$  и  $T_{в,ср}$  – средние температуры наружного воздуха за весь отопительный сезон и за его ветровую часть соответственно;  $D_{от,ср}$  и  $D_{ветр,ср}$  – средняя



продолжительность отопительного сезона и его ветровой части;  $V^2$  – средний квадрат скорости ветра за период  $D_{\text{ветр, ср}}$ ;  $k_1$ ,  $k_2$  – коэффициенты пропорциональности.

В общегосударственном масштабе аналогичная зависимость объемов потребления энергии и энергоносителей  $E(t)$  от ее основных метеорологических параметров (температуры воздуха  $T$  и длительности отопительного сезона  $D$ ) основных значимых для энергетики температурных сезонов определяется уравнениями

$$E(t) = E_0(t) + k_{\text{оп}} \cdot (8 - T) \cdot D_8 \quad (2.96)$$

для отопительного сезона при  $T \leq 8^\circ\text{C}$ ;

$$E(t) = E_0(t) + k_{\text{пер}} \cdot (25 - T) \cdot D_{\text{п}} \quad (2.97)$$

для переходных сезонов при  $8 < T < 25^\circ\text{C}$ ;

$$E(t) = E_0(t) + k_{\text{л}} \cdot (T - 25) \cdot D_{25} \quad (2.98)$$

для летнего сезона при  $T \geq 25^\circ\text{C}$ .

В этих уравнениях  $E_0(t)$  – зависящий от общего экономического состояния государства текущий средний уровень его энергопотребления, а  $k_{\text{оп}}$ ,  $k_{\text{пер}}$ ,  $k_{\text{л}}$  – частично зависящие от  $E_0(t)$  коэффициенты пропорциональности, которые характеризуют возрастание энергетических потребностей экономики при изменении температуры внешнего воздуха  $T$  на  $1^\circ\text{C}$  относительно ее значимых для энергетики реперных значений  $8$  и  $25^\circ\text{C}$  и при увеличении на  $10$  дней продолжительности отопительного  $D_8$ , переходных  $D_{\text{п}}$  и жаркого  $D_{25}$  сезонов соответственно. Учитывая, что на энергопотребление частично влияют и такие метеорологические параметры, как скорость ветра, облачность, солнечная радиация, осадки и др., приведенные выше уравнения целесообразно использовать лишь для приближительных оценок  $E(t)$ .

#### *Процессно-имитирующие модели сложных процессов и систем*

К системным процессно-имитирующим моделям сложных процессов и систем относятся такие математически формализованные феноменологические модели объектов прогноза, в которых в виде систем уравнений (линейных, алгебраических, дифференциальных, разностных, и т.п.) могут отображаться не только все основные реально существующие непосредственные связи между параметрами состояния этих объектов, но и наложенные на них логические условия и балансовые ограничения. При этом часть таких показателей является аргументами, которые задаются заранее или выступают как некоторые функции времени, а остальные являются определенными

функциями этих аргументов и друг друга, в том числе и функциями их прошлых значений, что дает возможность учитывать запаздывания воздействий одних показателей на другие.

Прогнозы по таким моделям реализуются в виде цепочки последовательных расчетов значений параметров состояния моделируемого объекта (процесса или системы) для каждого будущего момента времени  $t$ , начиная с какого-либо начального момента  $t_0$ , для которого значения параметров-аргументов либо известны, либо назначены, либо могут быть заданы как явные функции времени или других зависящих от времени параметров. С точки зрения реализации во времени системные процессно-имитирующие модели могут быть разделены на *хронометричные* и *хронодинамические*.

**Хронометричные модели** представляют собой такие явные функции времени или (и) других, явно зависящих только от времени, предикторов, на которые наложены определенные логические условия и ограничения, и которые могут быть рассчитаны для любого конкретного текущего, прошлого или будущего момента лишь при выполнении этих условий и ограничений, а любое их нарушение приводит к изменению схемы или алгоритма расчета.

**Хронодинамические модели** параметров состояния сложных процессов и систем представляют собой явные функции не только времени, но и некоторых прошлых значений этих параметров и влияющих на них аргументов, вследствие чего любое их будущее значение может быть рассчитано лишь при условии предварительного определения всех влияющих на него предшествующих значений этих параметров и аргументов. Поэтому хронодинамические модели, в отличие от хронометричных, могут реализовываться только пошагово с некоторым постоянным дискретным временным шагом  $\Delta t$ . При этом, если шаг  $\Delta t$  одинаков для всех фрагментов модели или входящих в эти фрагменты параметров моделируемого объекта, то модель называется синхронной, иначе – асинхронной. Для большинства реальных систем более адекватными действительности являются асинхронные модели, которые также могут быть одно- или полиаргументными и являются, в сущности, моделями процессов и систем с запаздывающими обратными связями.

Важным видом алгоритмических и хронодинамических имитационных моделей являются модели с наложенными на них балансовыми ограничениями (рис. 2.14).

При моделировании и прогнозировании развития экономики и ее отдельных отраслей, в частности энергетики, такие модели строятся

обычно на основе соотношений широко используемой системы национальных счетов. Применительно к прогнозу развития энергетики Украины такая имитационная модель детально рассматривается в главе 6.

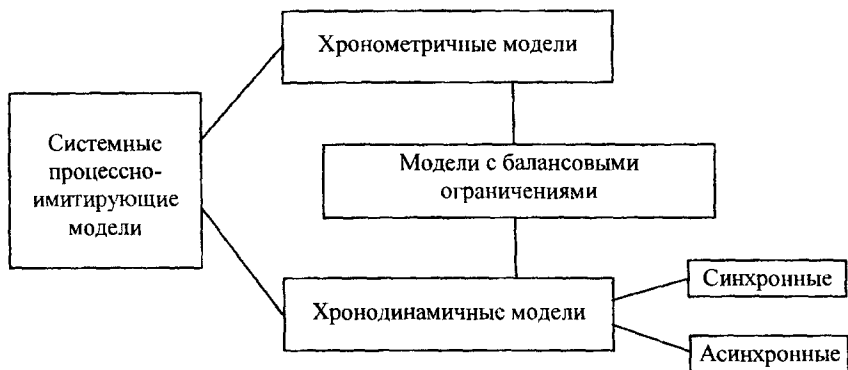


Рис. 2.14. Основные виды системных процессно-имитирующих моделей

В зависимости от природы моделируемого процесса, характера (линейности или нелинейности) непосредственных функциональных связей между характеризующими его протекание параметрами, а также структуры этих связей (наличия или отсутствия контуров обратной связи) изменение параметров процесса во времени может иметь как линейный, так и нелинейный характер. Важной особенностью системных имитационных моделей является то, что даже простейшие из них, основанные только на линейном представлении непосредственных связей между параметрами системы, демонстрируют соответствующее реальности явно нелинейное изменение многих из них во времени. Это происходит благодаря тому, что в таких системных моделях проявляется действие контуров обратной связи с запаздываниями (лагами), наличие которых не только является источником возникновения нелинейностей во временной динамике параметров состояния моделируемого объекта (системы или процесса), но и может приводить иногда к появлению у отдельных таких параметров внешне формальных, а в действительности причинно обоснованных опосредованных связей их текущих значений со своими прошлыми значениями, что является оправданием использования для прогноза временных рядов экономических показателей

внешне формальных авторегрессионных моделей. Таким образом, между причинно обусловленными системными и чисто статистическими, как-будто никак не обоснованными авторегрессионными моделями, не только нет глубокого принципиального различия, но и обнаруживается определенная причинная связь. В частности, как показано в работах [18, 36], из простой модели экономики страны, которая описывает системой линейных уравнений связи между реальным доходом  $R_t$ , потреблением  $S_t$ , инвестициями  $I_t$  и правительственными затратами  $U_t$  в момент времени  $t$ , путем замены переменных могут быть выведены авторегрессионные модели  $R_t$  и  $S_t$ , в которых текущие значения реального дохода и потребления выражаются через свои же значения в предшествующий  $t$  момент  $t - 1$ . А именно: из эконометрической модели

$$\begin{aligned} R_t &= S_t + I_t + U_t, \\ S_t &= \alpha + \beta * R_t + \varepsilon_t, \\ I_t &= \delta * (R_t - R_{t-1}), \\ U_t &= \rho * R_{t-1} + \gamma, \end{aligned} \quad (2.99)$$

где  $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \rho$  - положительные постоянные а  $\varepsilon_t$  - белый шум, получены имеющие форму авторегрессионных функций модели

$$R_t = \lambda + \pi * R_{t-1} + \chi_t, \quad (2.100)$$

$$S_t = (\alpha - \alpha * \pi + \beta * \lambda) + \pi * S_{t-1} + \varepsilon_t - \pi * \varepsilon_{t-1} + \beta * \chi_t, \quad (2.101)$$

в которых

$$\lambda = (\alpha + \gamma) / (1 - \beta - \delta), \quad \pi = (\rho - \delta) / (1 - \beta - \delta) \quad (2.102)$$

и

$$\chi_t = \varepsilon_t / (1 - \beta - \delta). \quad (2.103)$$

Таким образом, имеющиеся в эконометрической модели (2.99) опосредованные (через  $I_t$  и  $U_t$ ) обратные связи  $R_t$  и  $S_t$  со своими прошлыми значениями  $R_{t-1}$  и  $S_{t-1}$  превращаются в авторегрессионных моделях (2.100), (2.101) в их формально непосредственные связи с этими значениями. Отсюда вытекает, что большинство статистически достоверных моделей динамики экономических показателей могут быть выведены из какой-либо содержательно обоснованной системной эконометрической модели и отображать в авторегрессионной форме описываемые этой моделью обратные связи.

Как будет показано ниже, даже при линейных авторегрессионных связях динамика имеющих такие связи экономических показателей может быть существенно нелинейной, а при определенных значениях линейного коэффициента этой связи связанные ими показатели могут выйти за допустимые для них критические уровни и даже привести к разрушению системы.

Если же обратные связи между показателями системы сами по себе являются нелинейными, то это не только приводит к появлению существенно нелинейных авторегрессионных связей во временных рядах экономических показателей (с соответствующими эффектами их проявления), но и при определенных условиях придает динамике этих показателей внешне совершенно случайный характер, порождая так называемый детерминированный хаос. Простым примером такой ситуации является нелинейное разностное уравнение

$$Y_t = 1 - \alpha * Y_t * (1 - Y_t), \quad (2.104)$$

которое встречается в анализе финансовых рынков, где  $Y$  является ценой облигации. Во многих экономических применениях параметр  $\alpha$  лежит между 1 и 4. Таким образом, с одной стороны, это исключает стремление  $Y$  к бесконечности, а с другой – может радикально изменить характер его динамики в зависимости от значения коэффициента  $\alpha$ . Так, при  $1 < \alpha < 3$  динамика системы является простой: система стремится к равновесию ( $Y_t = 1 - 1/\alpha$ ) при любом отклонении  $Y$  от 0. Однако для  $3,75 < \alpha < 4$  в системе будет наблюдаться бесконечное число циклов с разной периодичностью и бесконечное число положений равновесия системы в зависимости от его начального состояния. Такой тип поведения называется хаосом и, хотя внешне оно может казаться совершенно случайным, его вполне можно прогнозировать как порожденное детерминированным процессом. Понятно, что реализация такого прогноза может быть осуществлена только путем создания и проигрывания на компьютере соответствующей детерминированной имитационной модели.

Следует отметить, что для моделирования действительно случайных процессов, случайных событий или изменений параметров системы во времени под влиянием на нее внешних случайных воздействий широко используются успешно имитирующие любые случайные изменения генераторы случайных чисел. Описание этих генераторов случайных чисел, сфер и особенностей их использования детально освещено как в многочисленных учебных пособиях, так и в

ряде специальных монографий по имитационному моделированию [4,6,8,9].

*Вероятностные прогнозы и принятие по ним деловых решений.*

При разработке крупномасштабных экономических проектов и решении инвестиционных задач лица, принимающие ответственные решения, которые определяют объемы инвестиций, в ряде случаев вынуждены это делать в условиях неопределенности. Причиной такой неопределенности является обычно либо отсутствие достоверной информации о реализации конкретных ситуаций и состояний экономической системы или окружающей ее среды, которые влияют на эффективность использования инвестиций, либо невозможность точного прогноза характеризующих эти состояния или ситуации параметров.

Неопределенность значений любого параметра внешней среды, которая может существенно влиять на эффективность инвестиций, проявляется в том, что вследствие случайности его изменения или влияния на него ряда недостаточно известных либо случайных факторов его будущие значения невозможно определить однозначно. Поэтому прогноз таких недетерминированных параметров  $X$  может быть задан или в дискретной форме – в виде набора вероятностей  $P(X_i)$  попадания  $X$  в один из конечного числа  $N$  непересекающихся интервалов  $I_x$ , на которые разделен весь диапазон  $[X_{\min} - X_{\max}]$  возможных значений  $X$ , или в виде непрерывной функции распределения  $F(X)$ , которая определяет вероятность превышения каждого из возможных значений  $X$ .

Таким образом, характерной особенностью вероятностного прогноза любого недетерминированного параметра является его многозначность, которая противоречит необходимости принятия по нему однозначного прогнозного значения  $X_{\text{пр}}$  этого параметра с целью его последующего использования для выбора или расчета соответствующего ему объема инвестиций.

В ряде случаев для преодоления этого противоречия предлагается в виде такого однозначного прогнозного значения  $X_{\text{пр}}$  принимать соответствующую вероятностному прогнозу  $X$  оценку либо его средней величины  $X_{\text{ср}}$ , либо его медианного (равновозможного)  $X_{\text{мед}}$ , либо наиболее вероятного  $X_{\text{вер}}$  значения. Однако такой выбор прогнозируемой величины  $X$  является оптимальным только относительно критерия точности прогноза, т. е. он минимизирует лишь среднее значение его возможных ошибок и совсем не учитывает возможные экономические последствия (убытки) от этих ошибок для инвестора, у

которого численно равные ошибки разных знаков в большинстве случаев приводят к неодинаковым экономическим ущербам  $U$ . Поэтому, чтобы по многозначному вероятностному прогнозу  $X$ , заданному, например, в дискретной форме, выбрать прогнозный интервал  $I_x$  значений  $X$ , необходимо кроме вероятностей  $P(X_i)$  попадания  $X$  в разные такие интервалы иметь еще и оценки возможных экономических потерь для разных случаев несовпадения выбранного прогнозного интервала  $J_x$  этих значений с интервалом  $I_x$ , в который попадет фактическое значение  $X_f$  параметра  $X$  после принятия по выбранному значению  $X_{пр}$  соответствующего ему инвестиционного решения.

Совокупность таких оценок имеет вид обычной квадратной матрицы  $U_{ij}$ , в каждую клетку  $ij$  которой внесена определенная экспертным или расчетным путем оценка  $U_{ij}$  возможных экономических потерь, которые могут иметь место при принятии прогнозного решения о попадании параметра  $X$  в интервал  $I_x$  и следующем фактическом попадании его в интервал  $J_x$ . В случаях, когда прогнозное решение принимается правильно и прогноз оправдывается ( $I_x = J_x$ ), потери  $U_{ij}$  отсутствуют, т. е. для  $I_x = J_x$   $U_{ij} = 0$ . Если же  $I_x$  и  $J_x$  разные, то в общем случае  $U_{ij} \geq 0$ .

Матрица потерь может быть как симметричной, когда одинаковым по величине положительным и отрицательным ошибкам прогноза  $X$  соответствуют одинаковые экономические потери, так и несимметричной, когда численно одинаковым, но разным по знаку ошибкам прогноза соответствуют разные по своей величине потери. Во всяком случае, процесс принятия решения о возможном будущем значении параметра  $X$  по его дискретному вероятностному прогнозу сводится к выбору такого интервала  $I_x$  значений  $X$ , при котором обеспечивается минимум математического ожидания потерь

$$M(U_i) = \sum_{i=1}^N P(X_i) * U_{ij} \quad (2.105)$$

где  $N$  – количество интервалов  $I_x$  значений  $X$ . Конкретные примеры такого использования вероятностных прогнозов и выбора по ним экономически оптимальных решений детально описаны в работах [36, 37, 38, 40].

При наличии непрерывного вероятностного прогноза параметра  $X$ , влияющего на эффективность использования инвестиций и заданного непрерывной функцией  $F(X)$  его распределения, инвестор для принятия оптимального решения по выбору расчетного

прогнозного значения  $X$  должен кроме прогнозирующей функции распределения  $F(X)$  этого параметра иметь еще и функцию потерь  $U(q)$ , которая характеризует его возможные экономические убытки от несовпадения  $\Delta$  избранного им прогнозного значения  $X_{\text{пр}}$  параметра  $X$  с его фактическим значениям  $X_{\text{ф}}$ , где  $\Delta = X_{\text{пр}} - X_{\text{ф}}$ .

Характерная особенность функции потерь  $U(\Delta)$  заключается в том, что она является возрастающей функцией абсолютной величины ошибки  $\Delta$  прогноза, причем для ошибок разных знаков вид этой функции может быть разным. В большинстве случаев с достаточной для практики точностью функция потерь  $U(q)$  может быть аппроксимована или линейной зависимостью  $U(\Delta) = k * |\Delta|$ , или нелинейными зависимостями  $U(\Delta) = k |\Delta|^m$ ,  $U(\Delta) = \log |\Delta|$ ,  $U(\Delta) = e^{|\Delta|}$  и пр. Учитывая, что все эти и подобные им возрастающие зависимости  $U$  от  $\Delta$  путем элементарных преобразований и замен переменных могут быть легко линеаризованы, т. е. сведены к линейной функции типа  $U(\Delta) = k * |\Delta|$ , где  $k$  зависит от знака  $\Delta$ , достаточно рассмотреть функцию потерь только в виде

$$\begin{aligned} U(\Delta) &= a * \Delta \quad \text{при} \quad \Delta > 0, \\ U(\Delta) &= b * \Delta \quad \text{при} \quad \Delta < 0, \end{aligned} \quad (2.106)$$

где в общем случае  $a \neq b$ .

Важным свойством такой функции потерь является то, что соответствующее ей оптимальное прогнозное значение параметра  $X$  зависит при заданном вероятностном прогнозе  $F(X)$  не от входящих в ее описание коэффициентов  $a$  и  $b$ , а от их соотношения  $c = a / b$ , которое показывает во сколько раз экономические потери от превышения прогнозируемого значения  $X_{\text{пр}}$  над его фактическим значением  $X_{\text{ф}}$  на некоторую величину будет больше или меньше потерь от снижения его  $c$  на ту же  $c$ -величину  $\Delta$ .

Это отношение  $c = a / b$  названо нами коэффициентом неравноценности потерь, и иногда его бывает легче оценить, чем сами коэффициенты  $a$  и  $b$ , которые с течением времени могут измениться.

Кроме того, в ряде случаев один и тот же вероятностный прогноз  $F(x)$  может одновременно использоваться многими потребителями, каждому из которых приходится учитывать его при решении различных задач, в которых могут встретиться самые разные сочетания значений  $a$  и  $b$ . Поэтому целесообразно вместе с вероятностным прогнозом  $F(x)$  предоставлять каждому его потенциальному потребителю таблицу или номограмму, позволяющую при любых  $a$  и  $b$



быстро определять соответствующее им оптимальное прогнозируемое значение  $X_{\text{пр}}$ .

Примером таких многопланово используемых вероятностных прогнозов являются прогнозы водности Днепра, которые необходимы не только для прогноза выработки электроэнергии каскадом Днепровских ГЭС, но и для выбора оптимальных режимов регулирования стока с учетом требований многочисленных водопотребителей, для проведения различных водохозяйственных и проектных расчетов и пр.

Нетрудно видеть, что при линейной функции потерь  $U(\Delta)$  построение таких таблиц и номограмм сводится к расчету графиков зависимости  $U$  от  $X_{\text{пр}}$  для различных фиксированных значений коэффициента неравноценности потерь  $c$ .

Последнее обстоятельство очень важно, так как помимо значительного облегчения всех расчетов оно дает потребителю возможность быстро определить оптимальные прогнозируемые значения  $X_{\text{пр}}$ , даже в тех случаях, когда входящие в формулу (2.9) значения  $a$  и  $b$  ему неизвестны, а вместо них он располагает только приближенной оценкой коэффициента  $c$ .

При наличии вероятностного прогноза  $x$  методика расчета и построения оптимизационных номограмм для выбора прогнозируемых значений  $x$  разными потребителями в случае линейной функции потерь сводится к последовательному выполнению следующих действий.

1. По заданному вероятностному прогнозу  $F(X)$  методом Монте-Карло генерируется соответствующая ему последовательность  $X_1, X_2, \dots, X_b, \dots, X_N$  случайных значений  $X$  из диапазона  $[X_{\text{мин}}, X_{\text{макс}}]$ .

2. В диапазоне  $[X_{\text{мин}}, X_{\text{макс}}]$  выбирается конечный набор  $X_1^*, \dots, X_i^*, \dots, X_N^*$  равностоящих друг от друга значений  $X$ , а в диапазоне  $[0; 100]$  – конечный набор  $c_1, c_2, \dots, c_k, \dots, c_N$  фиксированных значений коэффициента неравноценности потерь  $c$ . Примером такого набора значений  $c$  может быть последовательность: 0 – 0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,2; 1,5; 2,0; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12; 15; 20; 30; 40; 50; 100.

3. Из полученного набора фиксированных значений  $X^*$  выбирается некоторое  $X_j^*$ , по которому, как по прогнозному ( $X_{\text{пр}} = X_j^*$ ), внутри генерируемой последовательности  $X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_N$  составляется серия контрольных прогнозов и находится серия  $\Delta_{1j}, \Delta_{2j}, \dots, \Delta_{ij}, \dots, \Delta_{Nj}$  соответствующих этим прогнозам ошибок  $\Delta_{ij} \cdot X_j^* - X_i$ , и серия  $u_{1j}, u_{2j}, \dots, u_{ij}, \dots, u_{Nj}$  обусловленных этими

ошибками экономических ущербов  $u_{ij}$ . При этом каждый такой ущерб  $u_{ij}$  определяется по функции потерь  $u(\Delta)$ , которая с учетом соотношений (2.9) и (2.10) принимает вид:

$$\begin{aligned} \Delta_{ij} &= c_k * \Delta_{ij} \quad \text{при } \Delta > 0, \\ \Delta_{ij} &= | \Delta_{ij} | \quad \text{при } \Delta < 0, \end{aligned} \quad (2.107)$$

где  $c_k$  — одно из фиксированных значений коэффициента неравноценности потерь  $c$ .

4. Для полученной при фиксированных значениях  $X_j^*$  и  $c$  серии экономических ущербов  $u_{ij}$  рассчитывается соответствующее им значение математического ожидания ущерба:

$$\overline{u_{jc}} = \frac{1}{N} = 1 \sum_{i=1}^N u_{ij} . \quad (2.108)$$

Затем по формулам (2.11) – (2.13) рассчитываются  $u_{jc}$  для других сочетаний фиксированных значений  $X_j^*$  и  $c$ .

5. По рассчитанным наборам значений  $\overline{u_{jc}}$  строятся графики их зависимости от  $X$  при каждом фиксированном значении  $c$ . Совокупность таких графиков для различных  $c$ , если совместить их на одном рисунке, образуют оптимизационную номограмму, пользуясь которой, любой потребитель может легко выбрать соответствующее заданному вероятностному прогнозу  $F(X)$  оптимальное прогнозируемое значение  $X$  с учетом возможных для себя неблагоприятных последствий от неточности прогноза.

В качестве примера рассмотрим оптимизационную номограмму (рис.2.15) для выбора оптимальных прогнозных значений годового стока Днепра  $Q$  в створе Киева для расчета по ним планируемой годовой энергоотдачи каскада Днепровских ГЭС в случае, когда вероятностный прогноз стока  $Q$  задан в виде безусловной кривой обеспеченности  $P(Q)$  (кривая 2 на рис.2.15).

Ось абсцисс этой номограммы представляет собой шкалу значений модульных коэффициентов  $k=Q/Q$  стока, соответствующую шкале  $Q$  его значений на рис.2.15, а оси ординат – шкалы значений средних условных экономических ущербов  $\overline{u_{jc}}$  и относительных ущербов  $\varepsilon_n$ , рассчитываемых по формуле

$$\varepsilon_u = \frac{\overline{u_{k,c}}}{\overline{u_{1,1}}} \quad (2.109)$$

где  $\overline{u_{k,c}}$  — величина ущерба  $u$  при фиксированных значениях  $k$  и  $c$ ,  
а  $\overline{u_{1,1}}$  — величина  $u$  при  $k = 1$  и  $c = 1$ .

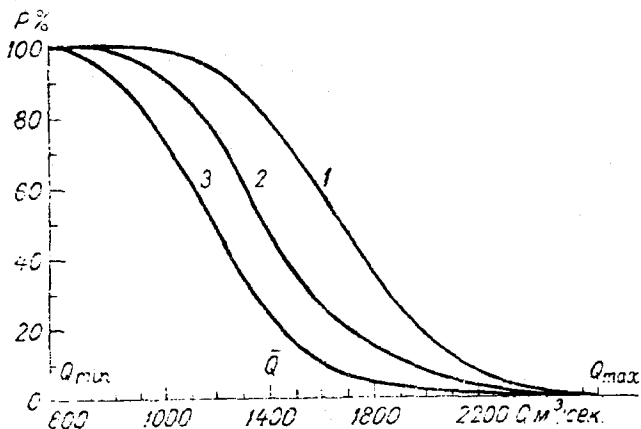


Рис. 2.15. Примеры вероятностных прогнозов годового стока Днепра в створе г. Киева: 1 — для многоводного года, 2 — для года средней водности, 3 — для маловодного года.

На рис. 2.16 зависимости  $\overline{u_{k,c}}$  и  $\varepsilon_u$  от модульного коэффициента  $k$  прогнозируемых значений годового стока  $Q$  даны для различных фиксированных значений коэффициента неравноценности потерь  $c$ . Из рисунка видно, что для любого  $c$  существует единственное оптимальное расчетное значение модульного коэффициента стока  $k$ , обеспечивающее минимум ожидаемого ущерба  $u$ .

Так, при  $c = 1$ , т. е. при  $a = b$ , когда равные по величине положительные и отрицательные ошибки выбора прогнозируемого значения стока  $Q$  по его вероятностному прогнозу  $P(Q)$  равноценны, минимальный экономический ущерб  $u$  соответствует модульному коэффициенту  $k = 1$ , т. е. наиболее выгодным в этом случае оказывается выбор в качестве расчетного значения стока его средне-многолетней нормы  $Q$ .

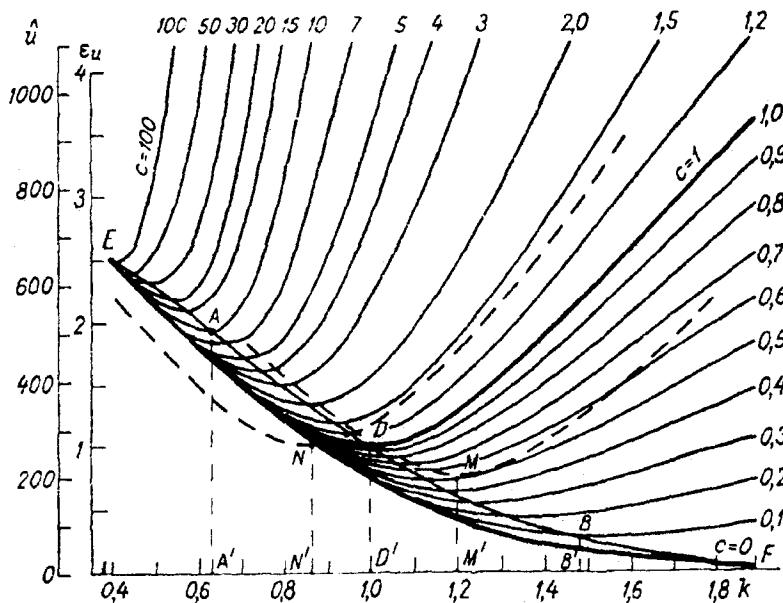


Рис. 2.16. Оптимизационная номограмма для выбора оптимальных прогнозных значений годового стока Диспра  $Q$  по его вероятностному прогнозу  $P(Q)$ .

Отсюда следует, что широко используемая при решении практических задач стратегия выбора расчетного значения прогнозируемой величины  $X$  в виде ее среднего значения  $X_{\text{ср}}$  или соответствующих вероятностному прогнозу  $P(X)$  математического ожидания  $M_X$  неявно предполагает равноценность положительных и отрицательных ошибок такого выбора.

В действительности же ошибки разных знаков, как правило, неравноценны, т. е. при невыполнении равенств  $a = b$  и  $c = 1$  это приводит к тому, что оценка возможного ущерба потребителя принимает минимальное значение при отличных от математического ожидания  $M_X$  прогнозируемых значениях  $X$ .

Так, при  $c > 1$ , когда завышение прогнозируемого значения на некоторую величину  $\Delta$  может привести к большому экономическому ущербу, чем ее занижение на ту же величину, экономически более выгодными оказываются заниженные, по сравнению с математическим ожиданием  $M_X$ , прогнозируемые значения  $X$ , о чем на номограмме свидетельствует смещение оптимальных по  $u$  расчетных

модульных коэффициентов стока  $k$  в сторону меньших значений. При  $c < 1$ , когда завышение прогнозируемого значения  $X$  на некоторую величину  $\Delta$  может привести к меньшему экономическому ущербу  $u$ , чем ее занижение на ту же величину, экономически более выгодными оказываются завышенные, по сравнению с математическим ожиданием  $M_X$ , прогнозируемые значения  $X$ , о чем на номограмме (рис.2.16) свидетельствует смещение оптимальных по средним потерям  $\bar{u}_{jc}$  расчетных модульных коэффициентов стока  $k$  в сторону его больших значений.

В крайних случаях, когда ущербы наносятся только завышенными (при  $b = 0$ ) или только заниженными ( $a = 0$ ) оценками прогнозируемой величины  $X$ , ее оптимальными прогнозируемыми значениями, как видно из номограмм на рис. 2.16, будут соответственно самые низкие и самые высокие возможные значения. Во всех остальных случаях оптимальные прогнозируемые значения  $X$  лежат между  $X_{\min}$  и  $X_{\max}$ . Так, при  $c = 10$ ,  $c = 1,0$  и  $c = 0,1$  эти оптимальные значения однозначно определяются модульными коэффициентами стока  $k = 0,67$ ,  $k = 1,0$  и  $k = 1,46$  (точки  $A'$ ,  $D''$ ,  $B'$ ), которые соответствуют минимумам зависимости  $u$  от  $k$  (точки  $A$ ,  $D$ ,  $B$  на рис. 2.16).

Для удобства использования номограммы минимумы всех этих графиков соединены одной плавной кривой  $EDF$ , с помощью которой каждый потребитель вероятностного прогноза  $P(Q)$  для любой решаемой им задачи, оценив предварительно характерный для нее коэффициент неравноценности потерь  $c$ , может легко найти оптимальное прогнозируемое значение стока  $Q$  и соответствующий ему условный ожидаемый ущерб  $u$ . Характерно, что выбор отличных от оптимального прогнозируемых значений  $Q$  всегда приводит к заметному увеличению условного ущерба  $u$ . Для количественной оценки этого ущерба в абсолютных единицах (грн, кВт·ч, ц/га и т. д.) можно воспользоваться формулой  $u = b'\bar{u}$ , где  $b'$  – выраженное в абсолютных единицах значение линейного коэффициента  $b$  в функции потерь (2.9).

Следует отметить, что на выбор оптимального прогнозного значения величины  $X$  влияет не только коэффициент неравноценности потерь  $c$ , но и задающая вероятностный прогноз условная кривая обеспеченности  $P(X/J)$ , расположение которой в диапазоне  $[X_{\min}, X_{\max}]$  возможных значений  $X$  определяется прогностической ценностью использования прогностической информации  $J$ .

Так, в первый год после максимума 11-летнего цикла солнечной активности, когда в большинстве случаев Днепр бывает многоводным [5], условная кривая обеспеченности  $P(Q/J)$  его годового стока  $Q$  (кривая 2 на рис. 2.15) смещается в область больших значений  $Q$ . В третий год после минимума 11-летнего солнечного цикла, когда Днепр обычно бывает маловодным [5], условная кривая обеспеченности  $P(Q/J)$  его стока  $Q$  (кривая 3 на рис. 2.15) смещается в противоположную сторону – в область малых значений  $Q$ . Аналогичные смещения претерпевают и соответствующие этим кривым обеспеченности оптимальные при разных  $c$  расчетные значения стока  $Q$  и его модульного коэффициента  $k$ , что на номограмме иллюстрируется положением оптимальных для кривых 1 и 3 расчетных значений  $k$  (точки.  $M'$  и  $N'$  на рис. 2.16) при  $c = 1$ .

Рассмотренные примеры показывают, что для принятия по вероятностным прогнозам эффективных прогнозных решений всем потенциальным потребителям этих прогнозов необходимо помимо обычно передаваемых статистических характеристик ( $\bar{X}$  и  $\sigma_x$  или  $X_{\text{ср}}$ ,  $X_{\text{мсд}}$ ,  $X_{\text{вер}}$ ) прогнозируемой величины  $X$  направлять также условную кривую обеспеченности  $P(X/J)$  и соответствующую ей оптимизационную номограмму, использование которой может дать значительный экономический эффект. Конкретные примеры использования таких номограмм для оптимизации выбора расчетных значений прогнозируемой величины  $X$  по ее вероятностному прогнозу  $F(x)$  рассмотрены в работах [37,38, 39].

## ГЛАВА 3

---

# ОСНОВНЫЕ ВЕХИ КОМПЬЮТЕРНОГО ЭТАПА РАЗВИТИЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

---

Началом компьютерного этапа развития имитационного моделирования можно считать период появления и распространения первых электронно-вычислительных машин (от начала 50-х до середины 60-х годов XX века). Этот период характеризовался главным образом разработкой программ автоматизации сложных и громоздких научных и прикладных расчетов, а также компьютерной реализацией большого арсенала накопившихся к тому времени методов и алгоритмов анализа и прогноза развития различных физических и технологических процессов и моделирования систем массового обслуживания, а в экономической сфере – методов анализа, моделирования и прогноза временных рядов экономических показателей и систем таких показателей, которые в рамках Госплана Украины широко использовались при разработке автоматизированных систем плановых расчетов (АСПР) и при решении задач оптимизации годовых и 5-летних планов экономического развития отдельных отраслей и народного хозяйства в целом.

В качестве основных программных средств в этот период использовались универсальные языки программирования – сначала ALGOL, FORTRAN и PL-1, а затем C++, на базе которых были разработаны и постоянно использовались (вплоть до распада СССР) многочисленные имитационные модели планирования и распределения капиталовложений, размещения предприятий обслуживания, нормирования ресурсов и многие другие.

После этого и фактически до конца 90-х годов XX в. имитационное моделирование в СССР и странах СНГ развивалось в целом крайне медленно (за исключением отдельных организаций ВПК и Академии наук), и его заметная интенсификация началась лишь после 2000 года, когда основными объектами математического моделирования, в том числе и имитационного подхода, стали банки, биржи и частично отрасли топливно-энергетического комплекса, т.е. достаточно крупные объекты, обладающие финансовыми ресурсами.

для которых имитационное моделирование стало средством выработки стратегии поведения на рынке.

Иницилирующим импульсом этой интенсификации стало повсеместное распространение персональных компьютеров и разработанных для них универсальных и специализированных программных пакетов и средств имитационного моделирования, а также резко возросшая востребованность этих средств со стороны практически всех сфер производственно-экономической жизни и населения.

Развитию и распространению имитационного моделирования на постсоветском пространстве в значительной мере способствовала организация и проведение ряда специализированных научных и научно-практических конференций, наиболее значимыми из которых были проведенные в 2003 и в 2005 гг. в Санкт-Петербурге Всероссийские научно-практические конференции ИММОД-2003 и ИММОД-2005.

В настоящее время имитационное компьютерное моделирование продолжает интенсивно развиваться и быстро расширяет области своего практического применения в Украине и других постсоветских государствах, которые все еще заметно отстают в этом плане от высокоразвитых зарубежных стран. Так как история развития имитационного компьютерного моделирования достаточно подробно освещалась в многочисленных научных статьях [1,2,42,43] и ряде монографий [4,5,6,8,9], мы кратко изложим данную в этих работах характеристику основных вех этого развития.

Важнейшей вехой компьютерного этапа развития имитационного моделирования стала разработанная Дж. Форрестером в конце 1950 г. новая концепция этого моделирования [44,45,46], названная им системной динамикой, которая дает возможность строить модели динамических взаимосвязанных систем с помощью причинных диаграмм циклов и схем вида "фонд-поток". Он же предложил для численного моделирования таких систем язык DYNAMO [46]. Модель строится как система дифференциально-разностных уравнений, а язык DYNAMO дает возможность автоматизировать процесс их написания. На этом языке базируются практически все современные средства непрерывного и неперервно-дискретного моделирования для построения моделей. В отличие от математического решения системы таких уравнений в замкнутом виде, в системной динамике используется их численное решение с дискретным шагом времени, которое дает возможность моделировать на некотором



временном промежутке динамические изменения фондов, связанных с действующими на них потоками.

Во время моделирования процесс формирования первичных изображений предметной области сводится к созданию простейших идеограмм (граф-схем), представляющих собой направленные графы, которые широко используются сегодня как инструменты визуального мышления. Представляемые идеограммами поточные модели строятся из таких элементов, как *фонды*, *потоки*, *конверторы* и *коннекторы*.

*Фонд* можно трактовать как некоторое количество чего-нибудь, что измеряется в определенных единицах (например, физических, денежных и др.). Фонды лучше всего представлять как резервуары, ресурсы или буферные емкости, которые могут аккумулировать единицы фонда, пополняться через входящие потоки и опорожняться через выходящие. В качестве буфера такой фонд может использоваться для балансирования скорости накопления и расходования в задачах снабжения. Такая функция фонда является основой концепции динамического поведения потоковых моделей, а сам фонд как резервуар представляет собой многоцелевой модельный механизм, поддерживающий практически все возможные варианты интерпретации динамики потоковых процессов.

Фонды пополняются или уменьшаются с помощью *потоков*, представляющих собой непрерывно протекающие во времени процессы, оценить которые можно в некоторых количественных единицах за определенный промежуток времени (час, сутки, месяц, год и пр.). Поток, как правило, ограничивается фондом, им можно управлять, увеличивая или уменьшая его интенсивность с помощью определенных алгебраических выражений.

Для детализации и уточнения поведения потоковых схем как преобразователей модельных единиц используются *конверторы*. Каждый конвертор характеризуется собственным значением, которое может задаваться полноценным алгебраическим выражением с использованием представительного набора встроенных функций. Конверторы применяются как переменные или алгебраические выражения и изображаются в виде кругов, соединенных с другими элементами стрелками – *коннекторами*. Чаще всего конверторы используются как обычные промежуточные переменные и служат для управления процессом взаимодействия элементов системы, регулируя интенсивность потоков. Коннекторы, как и потоки, могут применяться для конструирования блок-схем, а также для

изображения логических связей между элементами потоковых диаграмм.

Следует отметить, что предложенная Дж. Форрестером концепция системной динамики стала основой для разработки множества других подобных ей систем имитационного моделирования, одной из которых стала созданная в ВЦ Российской Академии наук автоматизированная система математического моделирования экономики ЭКОМОД [47].

Следующей важной вехой компьютерного этапа развития имитационного моделирования стало начавшееся в 1960-х годах создание специализированных языков имитационного моделирования, первыми из которых были GPSS, SIMSKRIPT, SIMULA и др. Наиболее популярным и широко используемым стал язык моделирования GPSS (General Purpose Simulation System – система моделирования общецелевого назначения) для построения событийных дискретных имитационных моделей и проведения экспериментов с ними. В среде GPSS модель системы задается в виде блок-схемы или эквивалентной ей последовательности операторов программы. В отдельных версиях языка GPSS количество блоков для создания имитационных программ достигает нескольких десятков. Этот язык содержит специальные средства описания динамического поведения вероятностных систем, задаваемого в виде изменения состояний системы в дискретные моменты времени, промежутки между которыми изменяются случайным образом от события к событию.

Основными элементами языка GPSS являются транзакты и блоки, которые отображают соответственно динамические и статические объекты системы. Последовательность блоков GPSS-модели отображает направления, в которых перемещаются транзакты. Как и любой другой язык программирования, GPSS содержит словарь и грамматику, с помощью которых могут разрабатываться программы моделирования систем определенного типа. GPSS также имеет и внутренний механизм передачи управления, реализуемый в модельном времени, которое дает возможность отображать динамические процессы в реальных системах. Управление от блока к блоку передается с помощью движения транзактов в модельном времени, а обращение к подпрограммам блоков происходит посредством движения транзактов.

Содержательное значение транзактов определяет разработчик модели, устанавливающий аналогию между транзактами и реальными элементами моделируемой системы. Современный вариант GPSS – система GPSS World [6,48] – имеет расширенные возможности по сравнению со стандартным языком GPSS за счет наличия в ней блока

INTEGRATE, который дает возможность создавать непрерывные или дискретно-непрерывные имитационные модели, а также встроенного в эту систему алгоритмического языка PLUS, который позволил включать в нее средства планирования проведения экспериментов.

Еще одним из широко используемых первых языков имитационного моделирования стал язык SIMSKRIPT, предложенный в 1962 г. сотрудником компании RAND CORPORATION Г.Маркевичем [49]. Первая версия языка была событийно-ориентированной, в ней существовали динамические объекты с атрибутами и статические объекты – активности. Во время взаимодействия между этими элементами создавались очереди объектов, над которыми можно выполнять определенные действия. Действия определяются подпрограммами, вызывающими подпрограммы событий. События, которые бывают внешними и внутренними, заносятся в список событий. В последующих версиях типичный событийно-ориентированный язык SIMSKRIPT быстро развился в интегрированное средство разработки имитационных моделей со встроенными конструкциями для процессно-ориентированного моделирования, управление которым выполняется с помощью системы SIMLAB (версия SIMSKRIPT II.5). Эта версия дает возможность создавать дискретно-событийные, непрерывные и комбинированные модели и широко применяется во многих странах как средство моделирования систем передачи данных, компьютерных сетей, транспортных и производственных систем, военных операций и планирование логистических процессов.

Из других, созданных в рассматриваемом периоде компьютерного этапа развития систем имитационного моделирования следует отметить разработанную в 1962 г. математическую конструкцию, названную по имени ее автора сетью Петри, которая стала одним из наиболее удобных средств представления и анализа сложных причинно-следственных систем [9].

Очередной важной вехой компьютерного этапа развития систем имитационного моделирования стало появление во второй половине 1960-х годов языка общего назначения SIMULA 67 [51], в котором впервые были введены понятия объекта и действия, выполняемого объектом, т. е. последовательности операторов (сценариев), которые описывают поведение или функционирование объекта. Также были введены понятия классов и иерархии классов. Класс в SIMULA 67 представляет собой множества родственных объектов, которые могут функционировать квазипараллельно во времени. Использование понятия иерархии квазипараллельных систем стало качественно новой ступенью структурного программирования. Кроме того, язык имел системные классы, которые обеспечивали как работу со списками и

совокупностью данных, так и моделирование дискретных систем, заложив таким образом фундамент появившегося значительно позже объектно-ориентированного программирования.

Следует отметить, что первые версии специализированных языков имитационного моделирования были предназначены для моделирования преимущественно дискретно-событийных процессов, хотя одновременно развивались и языки непрерывного моделирования [43]. Сначала все специализированные языки были процедурными и описывали поведение системы в виде последовательности вызываемых подпрограмм, составление которых требовало специальной подготовки пользователя. Результаты имитационного моделирования представлялись в терминах используемого специализированного языка и требовали содержательной интерпретации в терминах предметной области объекта моделирования, что способствовало разработке программ компьютерной анимации, позволяющих отображать проведение имитационных экспериментов на мнемосхеме поведения моделируемого объекта. В частности, сотрудниками Wolverine Software Corp. (USA) был разработан пакет компьютерной анимации ProofAnimation, который обеспечивал двухмерную визуализацию процесса имитационного моделирования и его результатов на понятной пользователю схеме объекта моделирования [52].

После 10-летнего этапа развития и усовершенствования уже разработанных языков и средств моделирования и появления новых непрерывно-дискретных языков моделирования, таких как ACSE, позволивших использовать в одной имитационной модели как непрерывные, так и дискретные компоненты, следующей вехой развития систем имитационного моделирования стал переход в первой половине 1980-х годов от разработки программирования моделей к развитию технологий моделирования. При этом основной акцент был перенесен на создание интегрированных средств имитационного моделирования, с появлением которых оно стало рассматриваться как единый процесс построения и исследования моделей, имеющий программную поддержку. В 90-х годах XX в. на мировом рынке появились среды имитационного моделирования (Arena, Extend, MicroSaint, Enterprise Dynamics и др.), содержащие интерфейс непрограммирующего пользователя и возможность анимации хода и эффективных средств визуализации результатов имитационного моделирования.

Мощным стимулом и очередной вехой ускоренного развития имитационного моделирования стал перенос всех разработанных ранее средств его программного обеспечения на появившиеся во второй половине 1980-х и начале 1990-х годов персональные

компьютеры и использование предоставляемых ими мощных средств графического интерфейса для эффективной цветной визуализации статичных и наглядной анимации динамичных результатов моделирования.

Вторая половина и конец 1990-х годов ознаменовались разработкой средства технологической поддержки процессов распределенного компьютерного моделирования на мультипроцессорных вычислительных системах и в сетях и стала, в сущности, началом современного этапа имитационного моделирования сложных процессов и систем в различных предметных областях и сферах человеческой деятельности.

В рамках этого этапа в период 1995–2005 гг. было издано множество монографий и учебников по имитационному моделированию, большинство из которых были посвящены не столько проблеме этого моделирования в целом, сколько освещали лишь отдельные его направления, средства реализации и области практического использования. При этом они реально использовались лишь узким кругом профессионалов, которые должны были иметь не только глубокие знания в той прикладной области, для которой строилась имитационная модель, но и достаточно глубокие знания в ряде прикладных областей математики и программировании, а также иметь опыт их практического использования.

В последнее время появился ряд работ [4,42,43], преодолевших некоторую узость и ограниченность первых этапов развития методических подходов, средств и технологий имитационного моделирования. Вследствие этого характерной особенностью большинства современных средств и технологий имитационного моделирования является то, что они практически не требуют длительного специального обучения пользователя, максимально упрощают и облегчают ему использование этих средств и технологий и дают возможность большую часть времени использовать не для создания имитационной модели, а для проведения имитационных экспериментов, содержательной интерпретации их результатов и принятия по ним эффективных решений.

Рассмотрим кратко основные методические подходы к разработке современных технологий имитационного компьютерного моделирования и методологию их практического использования.

# ОСНОВНЫЕ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИМИТАЦИОННОГО КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ (ИКМ)

---

Компьютерное моделирование, возникшее как средство исследования действительности с появлением первых компьютеров, развивается уже более 50 лет и может рассматриваться как состоящее из двух частично пересекающихся научно-прикладных областей: *математического моделирования и имитационного моделирования.*

Математическое моделирование представляет собой разработку математической модели исследуемого процесса или системы и исследование ее аналитическими методами, а имитационное моделирование – программирование, компьютерную реализацию и многократную прогонку на компьютере этой математической модели с целью детального анализа интересующих исследователя особенностей функционирования, поведения или развития моделируемого объекта без оказания на него каких-либо непосредственных воздействий.

При построении модели как заменителя реального объекта (системы или процесса) выделяются и учитываются только те определяемые целью исследования объекта аспекты проблемы, которые существенны для достижения поставленной цели, и игнорируются те, которые усложняют проблему и делают достижение этой цели затруднительным или даже невозможным.

Основными направлениями использования имитационного компьютерного моделирования являются:

- **решение прямых задач**, т.е. исследование ответных реакций системы при оказании на нее либо различных целенаправленных, либо возможных случайных или детерминированных возмущающих воздействий;
- **анализ чувствительности модели**, т.е. оценка влияния исходных гипотез, закладываемых в основу модели, а также назначаемых значений ее ключевых параметров, на выходные

показатели модели и на устойчивость выдаваемых ею прогнозов динамики моделируемого объекта;

- **решение обратных задач**, т.е. целенаправленный поиск такого решения задачи из области ее допустимых решений, которое обращает в максимум показатель эффективности функционирования системы (чаще всего этот поиск сводится к нахождению такого вектора входных воздействий на систему, который обеспечивает получение наиболее приемлемого вектора ее выходных значений);

- **поддержка принятия управленческих решений** в ходе управления сложными объектами (процессами или системами) с учетом наличия в них множества обратных связей с запаздыванием, которые делают поведение таких объектов интуитивно непредсказуемым;

- **позэтапное целевое планирование**, проектирование и исследование характеристик вновь создаваемых систем и процессов, начиная с самых ранних стадий их разработки;

- **анализ и прогноз поведения сложно организованных систем** и протекающих в них процессов в условиях неопределенности.

Перечисленные направления использования имитационного компьютерного моделирования являются, в сущности, основными направлениями реализации современной парадигмы научного исследования, которая состоит в том, что реальные объекты заменяются их упрощенными моделями (представлениями и абстракциями), выбираемыми таким образом, чтобы в них была отражена суть тех особенностей исследуемого объекта и протекающих в нем процессов, которые существенны для успешного решения относящейся к этому объекту конкретной проблемы. Что касается собственно компьютерного имитационного моделирования, то в процессе своего полувекового развития оно прошло ряд все усложняющихся общих представлений и концепций (парадигм) построения и использования компьютерных моделей и продолжает развиваться дальше. В научной литературе [4,42,43] к основным таким парадигмам, в рамках которых создавались свои специфические технологии разработки, средства реализации и методики использования, относятся:

- а) построение динамических и системно-динамических моделей (ДМ и СДМ) для исследования непрерывных процессов;

- б) построение дискретно-событийных и агентных моделей (ДСМ и АМ) для исследования дискретных процессов и систем;

в) построение гибридных моделей (ГМ) для исследования сложных процессов и систем, содержащих как непрерывные, так и дискретные компоненты;

г) построение комбинированных имитационных моделей (КМ) для исследования сложных процессов и систем всех возможных видов и разной степени детализации.

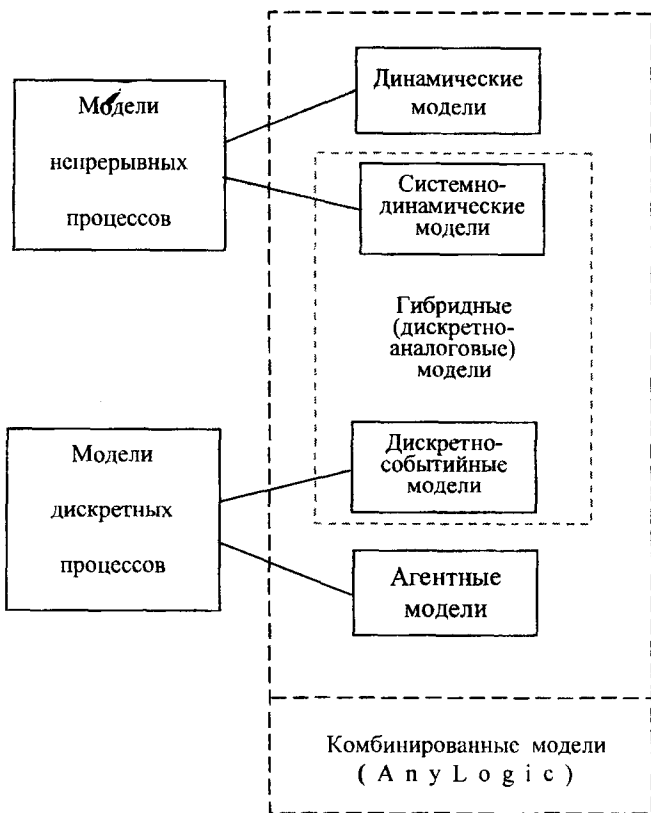


Рис. 4.1. Классификационная схема основных направлений имитационного моделирования и типов компьютерных моделей сложных процессов и систем

Общая классификационная схема указанных основных направлений имитационного компьютерного моделирования представлена на рис. 4.1.



Создаваемые в рамках каждого из этих направлений компьютерные модели могут быть также классифицированы в соответствии с классификационными признаками табл. 2.1. Рассмотрим кратко сущность и основные сферы возможных применений каждого из шести (ДМ, СДМ, ДСМ, АМ, ГМ и КМ) помещенных на рис. 4.1 видов имитационного моделирования.

**Динамическое моделирование** (ДМ) представляет собой разработку и использование имитационных компьютерных моделей целостного поведения физических объектов или их систем и развития протекающих в них процессов, описываемых системами алгебраических и дифференциальных уравнений.

Изначально (в середине 50-х годов прошлого века) такие модели строились для исследования непрерывно действующих объектов и систем и протекающих в них процессов на основе использования решающих блоков аналоговых компьютеров без учета логики функционирования и запаздывания действующих в моделируемых объектах функциональных связей. После появления цифровых компьютеров блочный подход к построению имитационных моделей сохранился, но аналоговые блоки (источники тока, интеграторы, усилители, сумматоры, умножители и пр.) были заменены цифровыми и реализовывались программно. При этом блочная структура системы собиралась не из аналоговых блоков, а из стандартных программных блоков библиотеки программ, после чего для этой структуры автоматически строилась система описывающих ее функционирование уравнений, которая затем решалась с помощью численных методов на компьютере.

Такой подход, реализованный, в частности, в системе компьютерного моделирования Simulink, оказался намного эффективней программирования отдельных аналоговых блоков и алгоритма их взаимодействия на обычных алгоритмических языках.

Особенностью динамического моделирования было то, что оно применялось для анализа относительно простых жестко детерминированных объектов и систем и протекающих в них непрерывных процессов, вследствие чего разработчики динамических моделей без особых затруднений мысленно представляли и описывали их в терминах алгебраических и дифференциальных уравнений, решаемых затем на компьютерах. Однако для исследования сложных систем, состоящих из множества разнородных объектов, такой подход оказался нереализуемым из-за невозможности мысленно представить и адекватно описать все нюансы их функционирования и взаимосвязи

посредством корректно составляемой и программно решаемой системы уравнений. Поэтому для моделирования и анализа таких систем был разработан иной подход (парадигма), названный системно-динамическим моделированием.

**Системно-динамическое моделирование (СДМ)** представляет собой разработку и использование имитационных компьютерных моделей сложных процессов и систем с учетом всех действующих в них прямых и обратных связей и их запаздываний, а также логики взаимодействия компонент этих систем друг с другом и окружающими их внешними системами.

Концепция системно-динамического моделирования была впервые разработана и успешно применена в 1960–1970-х годах Дж.Форрестером для анализа и прогноза поведения сложных динамических систем различного уровня – от отдельного предприятия и социальной системы города до экономики страны и мировой экономической системы в целом. Основой этой концепции было определение, фиксация особенностей (направленности, формы и запаздывания) и последующее наглядное графическое (диаграммное) представление всех функциональных связей в системе в целях выявления действующих в ней замкнутых контуров таких связей и исследования влияния этих контуров на текущее поведение системы и ее развитие в будущем.

Для решения этой задачи Форрестер разработал специальный язык DYNAMO [46], который позволял легко переводить диаграммы связей на язык машинных программ. Особенностью разработанной Форрестером технологии системно-динамического моделирования является использование для представления действующих в моделируемой системе связей всем понятной и легко интерпретируемой гидродинамической терминологии и соответствующих ей графических обозначений. При этом все протекающие в системе процессы описываются в терминах накопителей фигурирующих в ней конкретных субстанций (материалов, людей, объектов, информации, денег, численных значений и пр.), их источников, направленных потоков субстанций между накопителями, ее внешних стоков, а также характеризующих эти источники, накопители, потоки и стоки численных значений емкостей, объемов находящихся в них субстанций, интенсивностей потоков этих субстанций между накопителями и длительностей их перетекания, символизирующих запаздывания связей.

Общим для динамических и системно-динамических моделей (ДМ и СДМ) является то, что они предназначены для исследования протекающих в системах непрерывных процессов, а существенная разница состоит в том, что разработчики ДМ мыслят инженерно-математически (в терминах дифференциальных и алгебраических уравнений), а разработчики СДМ – образно (в терминах графических представлений поточных диаграмм, функциональных зависимостей переменных, структуры связей между ними и запаздываний этих связей) без использования терминологии дифференциальных уравнений.

Тем не менее, очень многие конкретные системы могут быть эквивалентно представлены как динамическими, так и системно-динамическими моделями. Однако, для моделирования и исследования сложных систем и протекающих в них взаимосвязанных процессов со множеством цепочек прямых и замкнутых контуров обратных связей с запаздываниями, которые могут изменяться во времени и зависеть от параметров моделируемых процессов, наиболее эффективными являются системно-динамические модели, так как только они могут адекватно выявить и проанализировать все особенности реальной или возможной динамики исследуемых процессов и изменения характеризующих их параметров во времени.

Важной особенностью системно-динамических моделей является то, что они предназначены для моделирования непрерывно протекающих процессов, но в отдельных случаях их можно использовать и для моделирования дискретных процессов, когда этой дискретностью можно пренебречь. Если же дискретность являлась важной неотъемлемой сущностью моделируемой системы и протекающих в ней процессов, то для ее исследования разрабатывались специальные методы и средства дискретно-событийного моделирования.

**Дискретно-событийное моделирование (ДСМ)** представляет собой разработку и использование имитационных компьютерных моделей сложных систем в случаях, когда для анализа и управления протекающими в них процессами важна не временная протяженность этих процессов, а лишь порядок (последовательность) их реализации и определяющие этот порядок логические правила. При этом такие процессы  $\Pi$  рассматриваются как происходящие мгновенно и не имеющие никакой длительности абстрактные события  $S$ , а учету подлежит лишь длина интервалов времени между этими событиями. Если же необходимо учесть и длительность  $D_{\Pi}$  моделируемого процесса, то он представляется парой событий – его началом ( $S_{1\Pi}$ ) и концом ( $S_{2\Pi}$ ), в результате чего в модели рассматриваются лишь

составляющие моделируемую систему объекты, их состояния, происходящие с ними события, интервалы времени между этими событиями и функциональные взаимосвязи между длительностями этих интервалов и численными характеристиками состояния системы и ее компонент.

Системы называются дискретно-событийными (или просто дискретными), если изменения переменных состояния в них происходят только в явно определенные моменты времени или под влиянием явно определенных событий. Находясь в некотором состоянии, дискретная система сохраняет его, не изменяя своих характеристик, лишь до наступления очередного события, под воздействием которого переменные системы (а значит, и ее состояние) изменяются скачком.

Таким образом, в каждый момент времени система может находиться только в одном состоянии, а переходы из состояния в состояние происходят, если осуществляется связанное с этим переходом событие и выполняется необходимое для реализации этого перехода условие. Для моделирования дискретно-событийных систем используется разработанный еще в начале 1960-х годов специальный язык GPSS, который сделал моделирование практической деятельностью, доступной широким массам программистов. Этот язык ввел в исследование систем парадигму потокового, или сетевого, моделирования, в соответствии с которой моделируемая система представляется структурной диаграммой, а протекающие в ней процессы – продвигающимися по этой диаграмме потоками сущностей (транзакций). Транзакции ожидают в очередях, конкурируют за использование ресурсов и блоков, осуществляющих их обработку (обслуживание), и в конце концов покидают систему.

Имитационное моделирование таких систем состоит в имитации того, как заявки порождаются на входе системы, а затем проходят блоки обработки и используют ресурсы в соответствии с правилами функционирования системы. Основная идея дискретно-событийного моделирования, состоящая в представлении системы как потоков объектов (заявок), проходящих по сети, построенной из блоков и соединяющих их направленных связей, оказалась очень плодотворной и быстро получила широкое распространение, так как позволяла применить фактически одну и ту же методологию к решению множества важных практических проблем.

Особенно успешным дискретно-событийное моделирование оказалось в области разработки и управления систем массового обслуживания, широко распространенных во многих сферах человеческой деятельности. Поэтому для моделирования таких систем были

разработаны библиотеки специализированных программ (например, библиотека Enterprise Library) моделирования их типовых элементов, из которых, как дома в крупнопанельном строительстве, можно собирать совершенно различные модели, решающие разнообразные задачи этой области. Так как в большинстве реальных систем массового обслуживания часть событий может происходить в случайные моменты времени, наиболее часто используемыми такими программами стали программы моделирования случайных величин.

**Гибридное моделирование (ГМ).** В ряде случаев для исследования многокомпонентных сложных систем, состоящих из компонент разной природы, возникает необходимость одновременно моделировать процессы разных типов – как дискретные, так и непрерывные. Разработка решающих эту проблему имитационных моделей относится к сфере гибридного моделирования, в котором помимо традиционных средств создания дискретных и непрерывных моделей отдельных компонент системы применяются специальные технологии их согласованного использования в рамках одной общей модели системы в целом.

**Агентное моделирование (АМ).** Общей особенностью кратко описанных выше методологических подходов к разработке современных технологий имитационного моделирования сложных систем является то, что все они являются технологиями так называемого агрегативного типа, в которых все системы или составляющие ее компонентные блоки (подсистемы) и их взаимодействие описываются агрегированно – системами алгебраических и дифференциальных уравнений в ДМ, СДМ, ГМ или алгоритмами согласованного функционирования в ДСМ.

При таком описании модель в состоянии адекватно отобразить только самые общие (интегральные) особенности поведения системы и функционирования составляющих ее блоков в виде законов изменения взаимозависимых потоков вещества, энергии, информации, денег, заказов, людей и пр., но при этом может упустить многие очень существенные для управления системой эмергентные свойства ее динамики, проявляющиеся как заранее непредвиденный результат реализации множества элементарных актов, которые осуществляются образующими систему и ее блоки индивидуальными элементами. Для выявления и учета таких свойств разработан новый – агентный – подход [4] к исследованию систем, который основан на представлении их в виде многоэлементного множества агентов – единичных самых элементарных далее неделимых типовых объектов системы, имеющих каждый свои параметры и свое поведение.

регламентируемое правилами участия этих объектов в различных системных процессах и правилами их реагирования на оказываемые на них воздействия со стороны других элементов системы и окружающей среды. При агентном подходе глобальные законы поведения всего коллектива активных агентов (элементарных объектов) системы проявляются в виде общего интегрального результата их взаимодействия друг с другом и внешней средой.

Использование агентных моделей особенно эффективно для исследования децентрализованных систем, динамика поведения и развития которых определяется не глобальными правилами и законами, а наоборот, эти глобальные правила и законы являются результатом индивидуальной активности и взаимодействия множества составляющих систему элементарных объектов.

Главной целью агентного моделирования является получение представлений об общих законах функционирования, поведения и развития моделируемой системы и возможных скрытых (неочевидных) особенностях и последствиях их проявления, исходя из предположений об индивидуальном, частном поведении составляющих ее активных объектов и правил их взаимодействия друг с другом и компонентами внешней среды. Поэтому использование агентного моделирования особенно перспективно при решении проблем анализа, прогноза и управления поведением и развитием больших производственно-экономических, эколого-экономических, социально-политических и других сложных многоэлементных систем и протекающих в них процессов.

Сопоставление агрегативного и агентного подходов к созданию имитационных компьютерных моделей показывает, что они исповедуют две принципиально разные методологии построения таких моделей. Агрегативный подход, используемый при построении ДМ, СДМ и ГМ моделей, реализует это построение от общего к частному, т. е. по технологии “сверху вниз”, и образно назван “моделированием леса”, а агентный подход, реализующий такое построение от частного к общему, т. е. по технологии “снизу вверх” – “моделированием деревьев”.

Как отмечается в работе [42], каждый из этих подходов имеет свои плюсы и минусы. Однако во многих случаях именно “моделирование деревьев”, т. е. рассмотрение системы как совокупности взаимодействующих активных объектов, дает более полную и качественную модель.

Например, в исследованиях рынка и социальных процессов важной проблемой является нахождение и объяснение законов

регулирования процессов: какие глобальные законы динамики возникают и являются устойчивыми в таких системах даже при отсутствии централизованного планирования и управления; как меняются эти законы при изменениях в поведении и предпочтениях индивидуальных активных объектов; как сочетаются законы стихийного рынка и законы планирования. Законы движения социальной системы, выведенные интегрированием характеристик индивидуального поведения объектов, являются обычно более точными, чем законы, сформулированные исходя из общих предположений о поведении всей интегральной совокупности объектов.

Часто при необходимости построения и анализа имитационной модели сложного процесса или системы эту модель можно строить, используя различные подходы и парадигмы моделирования. Так, имитационную модель динамики популяции можно строить и как системно-динамическую модель, описывая потоки рождения/смерти и миграции, и как агентную модель, описывая индивидуальную продолжительность жизни, семейный статус и пр. При решении одних проблем больше подходят традиционные подходы ДМ, СДМ или ДСМ, так как соответствующие им модели построить легче и они более эффективны, при решении других проблем более удобны и адекватны гибридные (ГМ) либо агентные (АМ) модели, несмотря на то, что их строить труднее и они требуют больше вычислительных ресурсов для компьютерной реализации. Агентные модели обычно строят в тех случаях, когда индивидуальное поведение объектов системы при ее моделировании нельзя не учитывать.

Однако в ряде случаев при анализе современных реальных систем возникает необходимость в разработке моделей, не укладывающихся в рамки какой-либо одной единственной парадигмы моделирования. Так, при моделировании системы с преобладающим дискретным типом событий может потребоваться введение переменных, описывающих непрерывные характеристики среды. В парадигму блочной модели потоков данных совершенно не вписываются дискретно-событийные системы. В рамках обеих этих парадигм невыразимы такие концепции, как активные объекты, взаимодействующие с окружением, что необходимо использовать, например, для моделирования конкуренции компаний на рынке.

В системно-динамической модели часто возникает необходимость учета дискретных событий или моделирования индивидуальных свойств объектов из разнородных групп. Подобные условия, выходящие за рамки традиционных парадигм при построении моделей,

требуют использования тонких и сложных средств интеграции внешних программных модулей с моделью, что существенно усложняет разработку моделей в традиционных средах и может сделать ее неосуществимой.

Так как потребность в моделировании сложных процессов и систем с одновременным использованием различных парадигм возникла сравнительно недавно, а созданные почти полвека назад программные средства и компьютерные технологии не обеспечивали возможности такого их использования, возникла необходимость в разработке систем имитационного моделирования, позволяющих удовлетворить эту потребность на основе использования и новых методологических подходов к такому моделированию, и новейших программных и технических средств его компьютерной реализации.

Одной из таких систем стала кратко описанная ниже среда имитационного компьютерного моделирования AnyLogic, позволяющая создавать и исследовать комбинированные имитационные модели (КИМ). Это описание является, в сущности, кратким пересказом и частичным цитированием монографии Ю.Г.Карпова [4], а также работы Борщева [42].

#### **AnyLogic – универсальная среда разработки и использования комбинированных имитационных моделей сложных процессов и систем**

Пакет AnyLogic – отечественный профессиональный инструмент имитационного моделирования нового поколения, основной базовой концепцией которого является использование объектно-ориентированного подхода к представлению моделируемых сложных систем, что существенно упрощает разработку моделей и их анализ. Этот подход, являющийся лучшим на сегодняшний день методом управления сложностью информации, позволяет простым и естественным образом организовать и представить структуру сложной системы и существенно упростить и ускорить создание моделей. Другой базовой концепцией AnyLogic является представление модели как набора взаимодействующих параллельно функционирующих активностей. Такой подход к моделированию интуитивно очень понятен и естествен во многих приложениях, поскольку системы реальной жизни состоят из совокупности активностей, взаимодействующих с другими объектами. Активный объект в AnyLogic – это объект со своим собственным функционированием, взаимодействующий с окружением. Он может включать в себя любое количество экземпляров других активных объектов. Активные объекты могут



динамически порождаться и исчезать в соответствии с заданными законами функционирования системы.

При имитационном моделировании структура моделируемой системы (ее подсистемы и связи) непосредственно представлена структурой модели, а процесс функционирования подсистем, выраженный в виде правил и уравнений, связывающих переменные, имитируется на компьютере. AnyLogic – это среда имитационного моделирования. Разнообразные средства спецификации и анализа результатов, имеющиеся в AnyLogic, позволяют строить модели, имитирующие работу моделируемой системы фактически с любой желаемой степенью адекватности, и выполнять анализ этой модели на компьютере без проведения аналитических преобразований.

Графическая среда моделирования AnyLogic поддерживает проектирование, разработку и документирование модели, а также выполнение с ней компьютерных экспериментов, включая различные виды исследования – от анализа чувствительности модели до оптимизации ее параметров относительно некоторого критерия. В результате AnyLogic не ограничивает пользователя одной-единственной парадигмой моделирования, что является характерным фактически для всех существующих сегодня инструментов моделирования.

В AnyLogic разработчик может гибко использовать различные уровни абстрагирования, различные стили и концепции, строить модели в рамках той или иной парадигмы и смешивать их при создании одной и той же модели, применять ранее разработанные модули, собранные в библиотеки, дополнять и строить свои собственные библиотеки модулей и пр.

При разработке модели на AnyLogic можно использовать концепции и средства из нескольких "классических" областей моделирования, например, в агентной модели – методы системной динамики для представления изменений состояния среды, или в непрерывной модели динамической системы учитывать дискретные события. В AnyLogic легко строятся модели с требуемым уровнем адекватности, позволяющие ответить на многие вопросы, интересующие исследователя.

Богатые возможности анимации и визуального представления результатов в процессе работы модели позволяют понять суть процессов, происходящих в моделируемой системе, и упростить отладку модели. При этом удобный интерфейс и многочисленные средства поддержки разработки моделей в AnyLogic делают и

создание, и использование компьютерных имитационных моделей в этой среде моделирования доступными даже для начинающих.

Сфера применения AnyLogic включает в себя логистику, телекоммуникацию, маркетинг и бизнес, системы управления, производственные процессы, протоколы связи, социальные процессы, моделирование физических процессов, экологию и многое другое.

Важная особенность Any Logic, вытекающая из возможности реализации на одной платформе идей различных подходов и парадигм моделирования, заключается в том, что при использовании данного программного продукта разработчик модели не связан узкими рамками только одной парадигмы, а может выбрать любую из них, наиболее подходящую для решаемой конкретной задачи. Но более интересным и важным преимуществом AnyLogic является то, что в рамках одной разработки можно использовать различные подходы, стили и парадигмы моделирования, смешивая их для построения наиболее ясной и адекватной модели. Например, конкурентную борьбу нескольких компаний в узком секторе производства удобно строить как агентную модель, представляя модель экономического развития региона в рамках системно-динамической парадигмы.

Таким образом, при построении реалистичных моделей для решения сложных проблем нужны подходы и инструменты моделирования, позволяющие совмещать при разработке одной модели различные парадигмы и стили моделирования. Как вытекает из предыдущего изложения, AnyLogic позволяет легко комбинировать различные подходы к моделированию, вследствие чего при использовании этой системы на первый план выходят: продумывание структуры будущей модели, выбор стиля и концепций ее разработки и наиболее подходящей парадигмы представления отдельных частей этой модели, а также приемы комплексирования моделей, разработанных в различных стилях [42].

При разработке и анализе динамических моделей в AnyLogic используются средства для аналитического задания уравнений, описывающих изменение переменных во времени, имеется возможность учета модельного времени и его продвижения, а также язык для выражения логики и описания прогресса систем под влиянием событий любого типа.

Так как во многих случаях в реальных системах присутствуют и непрерывные, и дискретные процессы, то в AnyLogic обеспечивается построение и исследование моделей со смешанным типом процессов, называемых гибридными. Выполнение гибридных моделей в AnyLogic

основано на современных результатах теории гибридных динамических систем и позволяет реализовывать такие модели фактически, на любом уровне абстракции (с любой степенью детализации).

Кроме того, пакет AnyLogic позволяет моделировать системы, в которых существенную роль играют случайные воздействия или протекающие в ней процессы имеют случайный характер. Для создания стохастических моделей пакет содержит средства для генерации случайных величин и статистической обработки результатов компьютерных экспериментов, а также средства автоматического накопления реализаций и определения выборочных характеристик исследуемых случайных процессов. При этом разработчик может пользоваться не только множеством включенных в AnyLogic генераторов случайных чисел для множества стандартных распределений, но и разрабатывать свои собственные генераторы случайных величин, построенные в соответствии с данными наблюдений над реальной системой.

Реализуемые в системе AnyLogic две фазы имитационного моделирования (разработка модели и ее анализ) явно разделены: разработка модели выполняется в среде редактора AnyLogic, а ее анализ происходит в среде исполнения, причем в каждой фазе существуют свои средства управления. При этом переход между фазами редактирования и исполнения модели осуществляется очень легко, что позволяет многократно применять его при разработке и использовании модели в ходе исследования представляемого ею сложного процесса или системы.

В AnyLogic основным структурным блоком при создании моделей являются классы активных объектов, использование которых является естественным средством структуризации модели сложных систем, рассматриваемых как множества параллельно функционирующих и взаимодействующих между собой сущностей, различные типы которых представляют разные активные объекты.

Чтобы создать модель AnyLogic, нужно создать классы активных объектов (или использовать объекты библиотек AnyLogic). Определение активного объекта задает шаблон, и отдельные объекты, построенные в соответствии с этим шаблоном (экземпляры активного объекта), могут использоваться затем как элементы других активных объектов. Всегда один класс в модели является корневым. Для него в модели AnyLogic порождается один экземпляр с предопределенным именем (root), который и запускается исполнительной системой AnyLogic на выполнение. Имя класса корневого активного объекта можно менять в окне его свойств.

Средствами спецификации поведения объектов в AnyLogic являются *переменные, таймеры и стейтчарты*. Переменные отражают изменяющиеся характеристики объекта. Таймеры могут быть взведены на определенный интервал времени и по окончании этого интервала выполнять заданное действие. Стейтчарты, позволяющие визуально представить поведение объекта во времени под воздействием событий или условий, состоят из графического изображения состояний и переходов между ними.

Любая сложная логика поведения объектов модели в AnyLogic может быть выражена с помощью комбинации стейтчартов, дифференциальных и алгебраических уравнений, переменных, таймеров и программного кода на Java. Алгебраические и дифференциальные уравнения, как и логические выражения, записываются в AnyLogic аналитически. Интерпретация любого числа параллельно протекающих процессов в модели AnyLogic скрыта от пользователя. Каждый активный объект имеет структуру (совокупность включенных в него активных объектов и их связи), а также поведение, определяемое совокупностью переменных, параметров, стейтчартов и т. п. Каждый экземпляр активного объекта в работающей модели имеет свое собственное поведение, может иметь свои значения параметров и функционирует независимо от других объектов, взаимодействуя с ними и с внешней средой.

Основной парадигмой, принятой в AnyLogic при разработке моделей, является визуальное проектирование – построение с помощью графических объектов и пиктограмм иерархий структуры и поведения активных объектов. Внутренним языком построения моделей в пакете AnyLogic служит язык Java – один из самых мощных и в то же время простых современных объектно-ориентированных языков, а сам пакет AnyLogic является надстройкой над этим языком. Все объекты, определенные пользователем при разработке модели на AnyLogic с помощью его графического редактора, компилируются в конструкции языка Java, а затем происходит компиляция всей собранной программы на Java, задающей модель, в исполняемый код.

В любой системе имитационного моделирования одним из его базовых понятий является понятие модельного времени – условного логического времени, в единицах которого определено поведение всех объектов модели. В моделях AnyLogic модельное время может изменяться либо непрерывно, если поведение объектов описывается дифференциальными уравнениями, либо дискретно, переключаясь от момента наступления одного события к моменту наступления

следующего события, если в модели присутствуют только дискретные события.

Моменты наступления всех планируемых событий в дискретной модели исполнительная система хранит в так называемом календаре событий, выбирая оттуда наиболее раннее событие для выполнения связанных с ним действий. Сам разработчик модели никаких календарей событий не ведет, так как отслеживание событий во всех процессах выполняется системой автоматически. Значение текущего времени в моделях AnyLogic может быть получено обращением к функции `getTime`. Единицу модельного времени разработчик модели может интерпретировать как любой отрезок времени: секунду, минуту, час или год. Важно только, чтобы все процессы, зависящие от времени, были выражены в одних и тех же единицах, а при моделировании физических процессов все параметры и уравнения должны быть выражены в одной и той же системе физических величин. При реализации модели на компьютере физическое время, затрачиваемое процессором на имитацию действий, которые должны выполняться в модели в течение одной единицы модельного времени, зависит от многих факторов, вследствие чего единица физического и единица модельного времени не совпадают.

В AnyLogic приняты два режима выполнения моделей: режим виртуального времени и режим реального времени. В режиме виртуального времени процессор работает с максимальной скоростью без привязки к физическому времени. Этот режим используется для факторного анализа модели, набора статистики, оптимизации параметров модели и пр. В режиме реального времени пользователь задает связь модельного времени с физическим временем, т. е. устанавливается ограничение на скорость процессора при интерпретации модели. В этом режиме задается количество единиц модельного времени, которые должны интерпретироваться процессором в одну секунду. Обычно данный режим включается для того, чтобы визуально представить функционирование системы в реальном темпе наступления событий и проникнуть в суть процессов, происходящих в модели.

Для представления функционирования моделируемой системы в живой динамической форме, помогающей пользователю проникнуть в суть происходящих в системе процессов, – в AnyLogic имеются специальные средства анимации, позволяющие легко создать виртуальный мир (совокупность графических образов, ожившую мнемосхему и пр.), управляемый динамическими параметрами модели по

законам, определенным пользователем с помощью уравнений и логики поведения моделируемых объектов.

Визуализация изменения значений переменных, зависящих от времени, а также фазовые диаграммы легко строятся простым введением нового графика и включением в него любых интересующих исследователя переменных и параметров проекта. Масштабирование на графиках выполняется автоматически. Пользователь может выбирать цвет графиков, представлять несколько графиков в одном окне, на одном графике иметь несколько переменных и пр. Разработчик модели может построить компьютерную анимацию поведения модели, определив графические элементы, представляющие процесс (например, стрелки, кружки, изображения машин или животных), и связав с динамическими значениями характеристик этих элементов переменные, которые изменяются в модели.

Важной особенностью системы AnyLogic является то, что она, в отличие от многих других систем имитационного моделирования, позволяет пользователю интерактивно вмешиваться в работу модели, изменяя ее параметры непосредственно в процессе компьютерного эксперимента. Все математические уравнения, описывающие модель исследуемой системы, решаются в AnyLogic численно, для чего в ней используется современная библиотека численных методов решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений как линейных, так и нелинейных, алгебраических уравнений, связывающих вещественные переменные, и любых их комбинаций.

Система моделирования AnyLogic обеспечивает поддержку всех этапов имитационного моделирования для различных типов динамических моделей – дискретных, непрерывных и гибридных, детерминированных и стохастических в любых их комбинациях в рамках одного инструмента. Данный инструмент обладает большим спектром разнообразных возможностей проведения как отдельных прямых экспериментов типа "если – то", так и серий подобных экспериментов для решения всевозможных обратных задач, направленных на поиск параметров модели, оптимизирующих ее функционирование. Удобный интерфейс и различные средства поддержки разработок в AnyLogic делают доступными не только использование, но и создание компьютерных имитационных моделей в этой среде моделирования даже для тех, кто в области вычислительной техники и программирования не является профессионалом.

## ГЛАВА 5

---

# ВОЗМОЖНОСТИ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИМИТАЦИОННОГО КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ АНАЛИЗА, ПРОГНОЗА И УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ПРОЦЕССАМИ И СИСТЕМАМИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

---

### **5.1. ТЭК как сложная система, являющаяся одновременно подсистемой энерго-экономической и природно-экологической систем Украины и мира**

Как показала многолетняя практика планирования развития топливно-энергетического комплекса (ТЭК) Украины и любых его региональных или отраслевых подсистем, все они являются организационно сложными производственно-технологическими и эколого-экономическими системами, многочисленные объекты которых рассредоточены в географическом пространстве, функционируют в непрерывно меняющихся условиях внешней среды и связаны между собой, с компонентами этой среды и сосуществующими с ней другими сложными системами многими непосредственными и опосредованными физическими и информационными связями. Основными признаками системной сложности ТЭК являются:

- пространственно-временная крупномасштабность и разветвленная организационная структурированность;
- многочисленность и разнородность подсистем и блоков ТЭК, большое количество уровней иерархической структуры составляющих их компонент и характеризующих состояние этих компонент параметров;
- множественность и разнородность связей между компонентами ТЭК и параметрами их состояния, наличие среди них множества

непосредственных и опосредованных многозвенных, прямых, разветвленных и замкнутых контуров таких связей и образуемых этими контурами сетей связи (сетевая связность системы);

- запаздываемость (лаговость) реакций элементов системы и параметров их состояния на оказываемые на них воздействия;

- функциональная сложность элементов системы, которая определяет логику их взаимодействия и особенности связей их параметров;

- нестационарность состава и свойств параметров системы, изменчивость структуры, нелинейность и стохастичность многих связей, подверженность компонент системы и связей между их параметрами влиянию множества случайных воздействий;

- постепенная эволюционность и эпизодические резкие изменения целей, отвечающих им правил поведения и взаимодействия компонент и элементов системы и пр.

Все эти признаки и свойства в полной мере присущи не только топливно-энергетическому комплексу Украины и многим его функциональным блокам и подсистемам, но и всем связанным с ним внешним системам. В частности, пространственно-временная многомасштабность, территориальная рассредоточенность и разветвленная организационно-структурная иерархичность ТЭК, его функциональных блоков и подсистем обусловлены ведущей ролью комплекса в энергетическом обеспечении украинской экономики. Многокомпонентность и многопараметричность ТЭК обусловлена разнообразием требований к энергообеспечению экономики и различных составляющих ее функциональных объектов – основных потребителей энергии и энергоресурсов.

Особую роль в создании системной сложности ТЭК играет множественность и разнородность связей между компонентами и параметрами состояния как самого ТЭК, так и других, связанных с ним внешних систем. Многозвенность, разветвленность и замкнутость многих из этих связей, а также наличие между ними большого количества контуров отрицательных (компенсирующих) обратных связей являются основным источником возникновения нелинейностей в динамике параметров состояния компонент ТЭК и трудностей анализа и прогноза этой динамики. Такие связи могут быть как непосредственными, так и опосредованными.



Простейшими примерами непосредственных функциональных связей в ТЭК являются прямое положительное влияние на потребность в электроэнергии и энергоносителях со стороны неэнергетических отраслей (объемы выпускаемой ими энергоемкой продукции) и собственно ТЭК (потребности на собственные нужды и потери в электросетях). Примером опосредованной обратной функциональной связи может быть отрицательное воздействие самого на себя объема производства отдельных отраслей ТЭК путем затрат на обеспечение экологической безопасности подверженной их влиянию природной среды.

Следует заметить, что передача непосредственных и опосредованных воздействий по цепям прямых и обратных связей в ТЭК и экономике Украины, как сложных системах, осуществляется не мгновенно, а с достаточно большим (от нескольких недель и месяцев до 1–3 лет) запаздыванием. Это обусловлено, во-первых, опережающим ростом целевых плановых установок и потребностей общества в сравнении с реальными ресурсными возможностями экономической системы, во-вторых, существенной инерционностью многих процессов в экономике и ее базовых подсистемах, в том числе топливно-энергетическом комплексе, а в-третьих, значительными затратами времени как на осмысление необходимости принятия решений относительно реорганизации и дальнейшего развития отрасли в соответствии с новыми экономическими условиями, так и на выполнение этих решений. Фактор лаговости существенно усложняет анализ и прогноз развития ТЭК и взаимодействующих с ним других компонент экономической системы, чему в значительной мере способствует также функциональная сложность структуры и логики такого взаимодействия и специфические особенности взаимосвязей параметров состояния компонент этой системы.

Значительный вклад в системную сложность ТЭК вносят также длительность его исторического существования и принадлежность к классу систем, которые растут и саморазвиваются как компоненты содержащих их других саморазвивающихся систем (украинской и мировой экономики), что во многом определяет изменчивость (нестационарность) целей и направленности развития ТЭК, компонентного состава и свойств его компонент и параметров, структуры и особенностей проявления связей между ними и т.д.

Длительность и саморазвивающийся характер существования ТЭК и экономики Украины, различных связанных с ними внешних систем и охватывающих всех их экономических и естественных надсистем приводят как к постоянной постепенной эволюционности, так и эпизодическим корректировкам и изменениям целей развития украинской экономики и ТЭК, а значит, и к соответствующим изменениям правил поведения и взаимодействия компонент всех этих систем и взаимосвязей их параметров. Наиболее интенсивно такие изменения проявляются в переходные периоды, в частности при переходе экономики Украины к рыночным отношениям, что значительно усугубляет неопределенность состояния и развития большинства ее компонент (в том числе и ТЭК) даже в ближайшем будущем.

Заметное увеличение неопределенности состояния и параметров отдельных компонент ТЭК и других отраслей украинской экономики происходит также за счет стохастичности и плохой предсказуемости изменений во времени и влияния на эти отрасли состояния окружающей природной среды, подверженной интенсивным воздействиям сезонной и многолетней динамики погодно-климатических и других естественных и антропогенных факторов.

Примерами таких параметров являются: температура, продолжительность и ветровой режим отопительного периода, которые определяют потребность в тепле, топливе и электроэнергии на отопление и коммунально-бытовые услуги; температура и продолжительность теплого периода года, от которых зависит потребление электроэнергии на кондиционирование помещений и работу холодильных агрегатов; продолжительность и режим температуры и осадков вегетационного периода, которые определяют урожайность сельскохозяйственных культур и потребности на их переработку тепловой и электрической энергии; водность Днепра и зависящая от нее выработка электроэнергии Днепровским каскадом ГЭС, который во многом обеспечивает покрытие пиковых нагрузок в украинской энергосистеме.

Характер и основные особенности многолетней динамики некоторых из параметров природной среды, которые могут существенно влиять на функционирование предприятий ТЭК, приведены на рис. 5.1-5.3

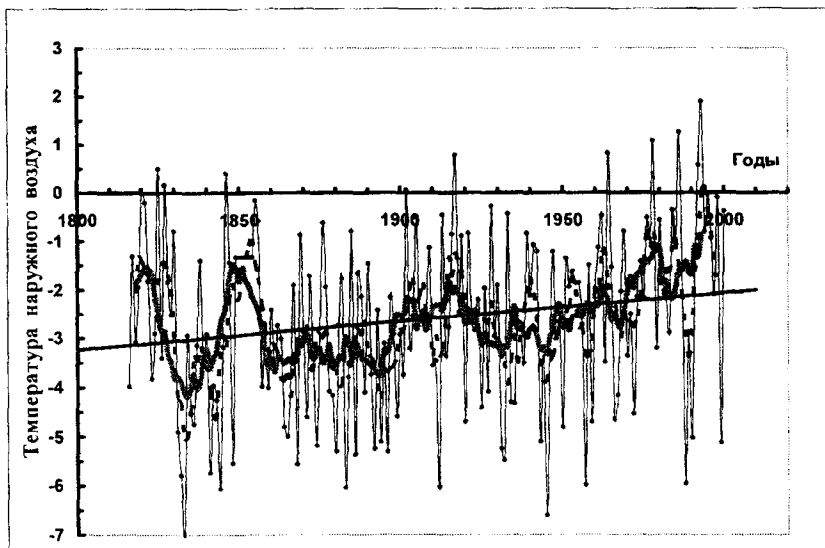


Рис 5.1. Многолетняя динамика ( — ), общий линейный тренд ( ——— ), 5-летние ( ..... ) и 11-летние ( ——— ) средние значения температур  $T^{\circ}\text{C}$  наружного воздуха зимних отопительных сезонов в Киеве

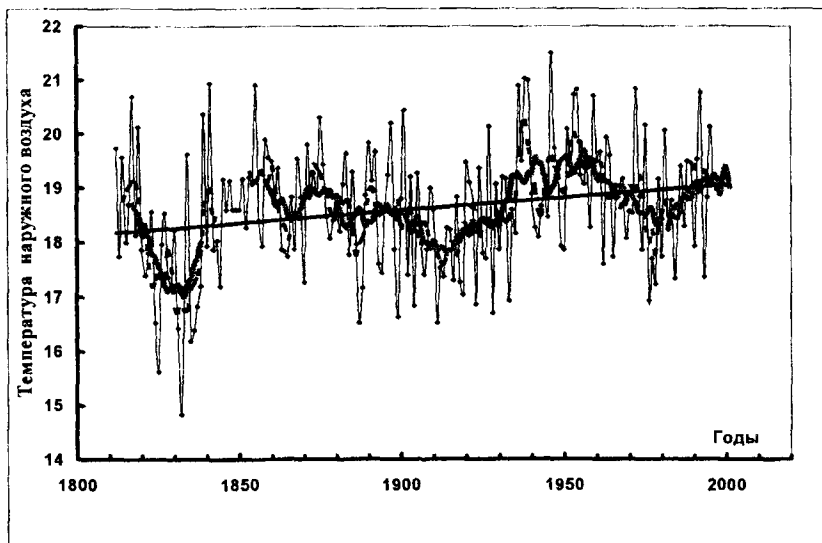


Рис 5.1а. Многолетняя динамика ( — ), общий линейный тренд ( ——— ), 5-летние ( ..... ) и 11-летние ( ——— ) средние значения температур  $T^{\circ}\text{C}$  наружного воздуха летних сезонов в Киеве

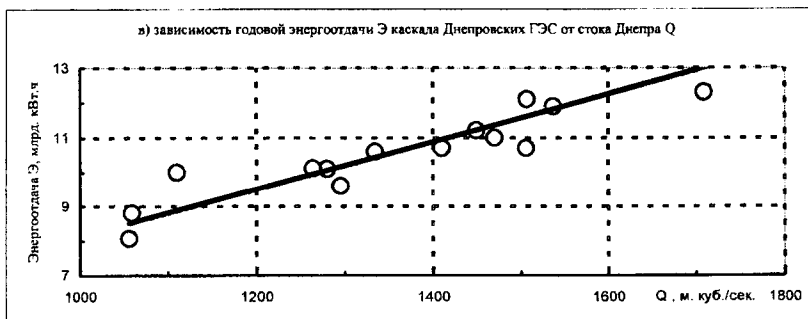
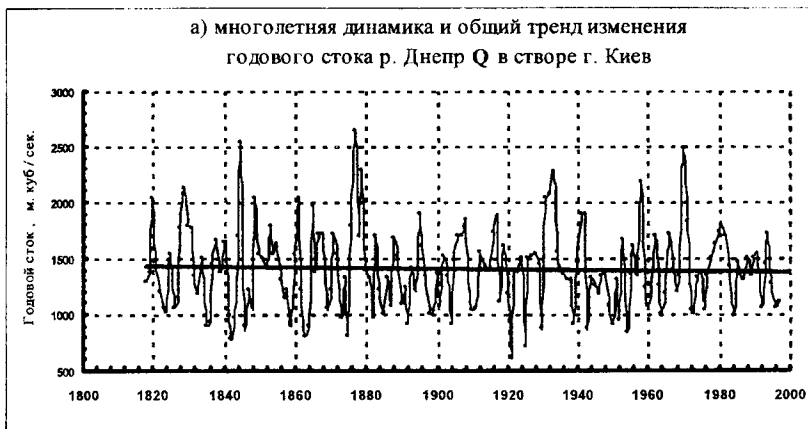


Рис. 5.2. Многолетняя динамика и связь годового стока Днепра  $Q$  в створе г. Киева и годовой энергоотдачи  $\mathcal{E}$  каскада Днепровских ГЭС



*Рис. 5.3. Динамика модулей урожайности основных зерновых и технических культур в Украине относительно ее уровня 1985 г.*

Учитывая столь существенное влияние на функционирование отдельных важных компонент ТЭК и экономики в целом трудно предсказуемых почти случайных колебаний многих параметров окружающей природной среды, эту среду целесообразно выделить в

отдельную самостоятельную по отношению к экономике и ТЭК внешнюю систему. Для Украины как социально-экономической системы внешними являются и другие аналогичные системы (государства), а окружающей средой – ее собственная природная окружающая среда и природная среда территорий сопредельных государств, связанных с территорией Украины стоком рек (Днепра, Десны, Припяти, Днестра, Северского Донца и др.), горизонтами подземных вод и нефтегазоносных пластов, ветровым трансграничным переносом атмосферных масс и загрязняющих воздух промышленных выбросов и пр.

Кроме того, параметры состояния природной среды Украины посредством циркуляции атмосферы и океана и прочих общепланетарных геофизических и глобальных космофизических факторов могут быть связаны с параметрами окружающей среды других довольно отдаленных от Украины стран и континентов.

Учитывая все это, к внешним системам топливно-энергетического комплекса Украины можно отнести все отрасли ее промышленности и экономики и взаимодействующие с ним ТЭК соседних государств, а к надсистемам – охватывающие их все и последовательно входящие одна в другую такие надсистемы, как экономика и природная среда самой Украины, ТЭК и экономика мира, а также природная среда Европы, северного полушария и всей планеты Земля в целом. Внешней всеохватывающей надсистемой всех этих систем является Солнце с его планетами и околосолнечное космическое пространство со всеми происходящими в нем физическими процессами, которые активно влияют на все живые и неживые объекты природного и техногенного происхождения. Общая схема взаимодействия ТЭК и экономики Украины с внешними системами приведена на рис.5.4.

Что касается самого топливно-энергетического комплекса Украины как сложной системы (рис.5.5), то к его собственным подсистемам можно отнести отдельные отрасли и подотрасли энергетики (электроэнергетику, угольную, газовую, нефтедобывающую и нефтеперерабатывающую промышленность), к функциональным блокам – крупные промышленно-энергетические комплексы, газо- и нефтепроводные системы и др., а к функциональным объектам – отдельные угольные шахты, карьеры, углеобогачительные фабрики, нефтегазовые промыслы и нефтеперерабатывающие заводы, мощные тепловые, атомные, и гидроэлектростанции, линии электропередач и т.д.

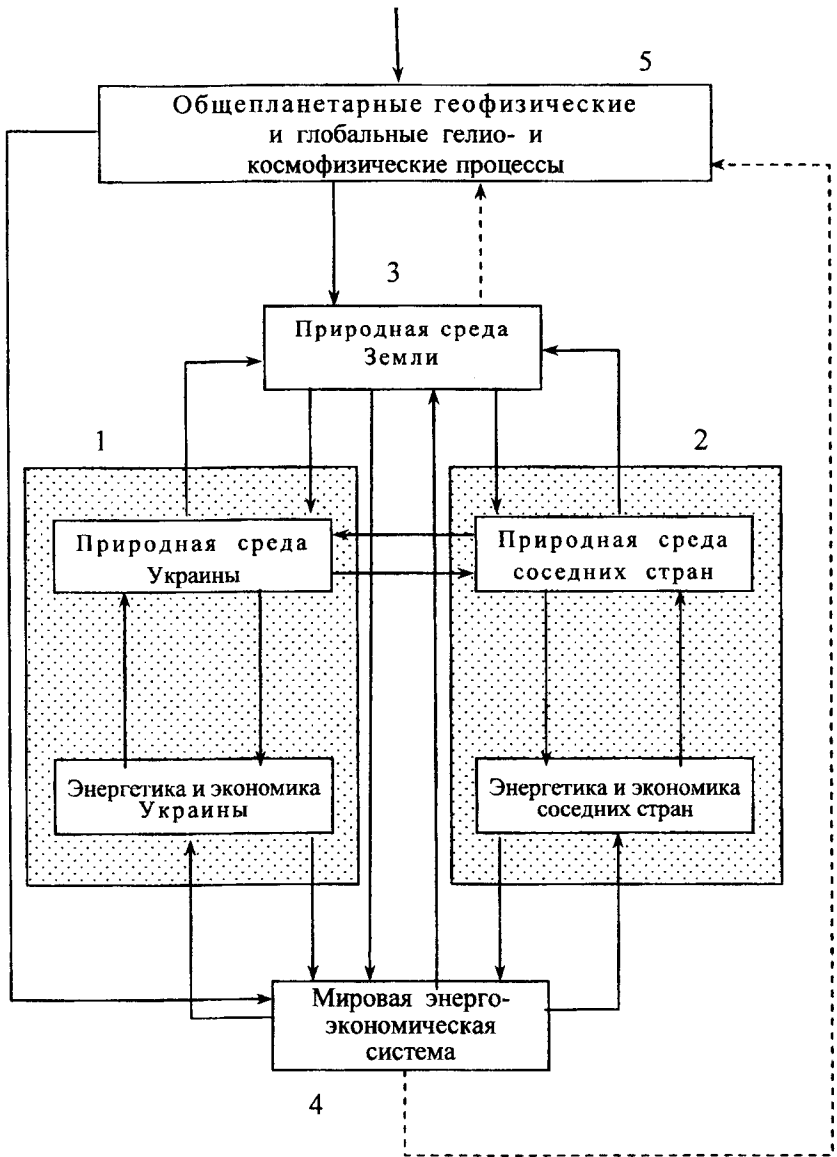


Рис 5.4. Общая схема взаимосвязей энергетики, экономики и окружающей среды Украины (1) и соседних стран (2) с природной средой Земли (3) и мировой энергоэкономической системой (4)



Рис.5.5. Общая структурная схема украинского ТЭК, как составной части экономической системы Украины



## **5.2. Возможности использования существующих и необходимость разработки новых средств имитационного компьютерного моделирования для решения проблем анализа, прогноза и управления сложными процессами и системами в энергетике**

При рассмотрении проблемы использования существующих методов и средств имитационного компьютерного моделирования для решения задач анализа, прогноза и управления сложными процессами и системами вопрос состоит не столько в определении основных направлений и путей такого их использования, сколько в наличии этих методов и средств, их доступности для освоения и достаточности для широкого применения основной массой нуждающихся в них потенциальных пользователей.

Из всех рассмотренных выше таких методов и средств наименее доступными для массового использования являются универсальные языки программирования (ASSEMBLER, ALGOL, COBOL, FORTRAN, PASCAL, PL-1, VISUAL BASIC, C++ и др.), а также некоторые специфические средства – сети Петри [50], тензорные методы [53,54,55] и другие, требующие для пользования ими хорошего знания не только моделируемой предметной области и применяемого для ее описания математического аппарата, но и свободного владения языками программирования.

Более доступными, но требующими высокой математической культуры, программистских навыков и больших затрат времени на освоение, являются универсальные программные пакеты **Mathematika**, **MathCAD** и **MathLab**, предназначенные для создания и аналитического исследования математических моделей практически в любых предметных областях, а также – некоторые специализированные средства: язык программирования DYNAMO [46] для численного моделирования причинных диаграмм и циклов в системе имитационного моделирования Форрестера, российский пакет ЭКОМОД [47] для имитационного моделирования сложных экономических систем и им подобные.

Достаточно доступными для многих пользователей ПК являются специализированные языки имитационного моделирования GPSS, SIMSKRIPT, SIMULA, ACSE и др., а также некоторые специализированные системы и среды имитационного моделирования (**Arena**, **Extend**, **MicroSaint**, **Enterprise Dynamics** и пр.), содержащие

интерфейс непрограммирующего пользователя, возможность анимации хода и эффективных средств визуализации результатов имитационного моделирования.

Наболее доступными для большинства предметных специалистов, имеющих обычный вузовский уровень математической подготовки и определенные навыки работы на ПК, являются многочисленные лицензионные и свободно распространяемые стандартизированные программные средства типа электронных таблиц **EXCEL**, предназначенные для компьютерной реализации сложных расчетов, а также универсальные компьютерные среды имитационного моделирования типа **AnyLogic**, представляющие собой универсальную среду визуализированной разработки и исследования комбинированных имитационных моделей сложных процессов и систем любой природы.

К универсальным (в смысле легкой интерпретируемости и возможности использования в различных предметных областях) можно отнести также систему имитационного моделирования КОГНИТРОН и язык описания алгоритмических сетей [57,58]. Однако, при всех удобствах использования универсальных пакетов и средств имитационного моделирования они остаются пока малоизвестными широкому кругу потенциальных пользователей и весьма дорогими для приобретения не только отдельным пользователям, но и многим организациям, так как стоимость наиболее эффективных из таких средств (особенно зарубежных) может достигать нескольких тысяч, а иногда и десятков тысяч долларов.

Кроме того, в имеющихся пакетах имитационного моделирования практически отсутствуют средства для описания и анализа структуры сложных систем, а также вычленения из этих структур и детального исследования имеющихся в них контуров обратной связи, наличие которых существенно влияет на функционирование сложных систем и развитие протекающих в них сложных процессов. Поэтому представляется актуальным разработать лишенную этого недостатка общую методологию и доступные для быстрого освоения специалистами различных предметных областей эффективные средства создания и анализа имитационных компьютерных моделей сложных процессов и систем, основанные на использовании возможностей всем известных электронных таблиц EXCEL [59], а также пригодные для реализации в рамках универсальных сред

имитационного моделирования типа **AnyLogic** [4] и стандартных математических пакетов **Mathematika**, **MathCAD** и **MathLab**.

Основы такой методологии, построенной на использовании наглядных легко интерпретируемых граф-схемных изображений сложных систем и действующих в них функциональных связей и адекватно представляющих эти связи структурных и функциональных матриц, излагаются в следующих главах.

### **5.3. Основы матрично-структурного подхода к разработке общей методологии описания сложных процессов и систем и созданию их имитационных компьютерных моделей**

Методологически многие задачи управления экономикой, энергетикой, производственными, эколого-экономическими и социально-политическими объектами разных иерархических уровней (от фирм, корпораций и производственно-экономических отраслей до экономик отдельных государств и мира в целом) могут быть отнесены к классу задач структурно-динамического анализа, прогнозного моделирования и целенаправленного управления поведением сложных систем. Поэтому и подходить к решению этих задач необходимо с позиций современной теории таких систем, исходя из основных определяющих эту сложность признаков и свойств.

В экономике, энергетике и других отраслях, как сложных системах, основными такими признаками и свойствами являются: пространственно-временная распределенность; многоуровневая иерархичность и разветвленность структурной организации системы; множественность и разнородность ее основных подсистем, блоков, составляющих их компонент и параметров состояния этих компонент; множественность и разнородность связей между всеми перечисленными атрибутами системы и создаваемых этими связями многозвенных цепочечных воздействий, которые могут образовывать замкнутые контуры таких воздействий (контуры обратной связи); наличие лагов (запаздываний) реакций элементов и параметров системы на оказываемые на них воздействия и сложность логики, определяющей взаимодействие этих элементов и последовательности происходящих с ними и параметрами их состояния событий; нестационарность состава и свойств элементов системы и параметров их состояния, переменность структуры и вида связей между ними, нелинейность и стохастичность многих связей; постепенное эволюционирование и эпизодические резкие изменения целевых

установок и соответствующих им правил поведения и взаимодействия компонент и элементов системы и т.д.

Все эти свойства в разной мере присущи не только любой экономической и крупной производственной системе в целом, но и многим ее отдельным структурно-функциональным блокам и подсистемам. Кроме того, для каждой такой системы и ее структурных компонент характерно наличие у них множества информационных, производственных, экономических и прочих связей с другими подобными системами или их компонентами, а также подверженность их воздействиям окружающей политической, социально-экономической и природной среды и ее многообразных факторов, как местного (локального и регионального), так и глобального (общегосударственного, общепланетарного и иногда даже космико-геофизического) происхождения. Следствием сложности таких систем является необходимость иметь для обеспечения эффективного управления ими не только детальную информацию о строении, функционировании и взаимосвязях всех компонент и параметров этих систем и действующих на них внешних и внутренних факторах, но и располагать специальными методами и приемами учета этой системной сложности.

Главной трудностью при решении подобных задач являются ограниченные возможности человеческого мозга, не позволяющие ни отдельному высококвалифицированному специалисту, ни их группе, охватить единым мысленным взором все свойственное таким системам огромное количество составляющих их объектов и их объединений, состояний и свойств этих объектов, особенностей их поведения, взаимодействия и взаимосвязи друг с другом.

Дополнительные трудности порождаются также предметно-целевой многоаспектностью и многоплановостью задач управления сложной системой, что приводит к необходимости рассмотрения этих задач как в каждом из существенных аспектов, так и в разных их сочетаниях в широком спектре различных предметных областей, каждой из которых свойственны свои специфические процессы самой разной природы (социальные, юридические, эколого-экономические, демографические, производственно-технологические, политические и пр.), трудно поддающиеся единообразному математическому описанию. Поэтому подбор или создание таких средств с целью решения на основе их использования задач управления сложными системами и протекающими в них процессами часто представляется неосуществимым.

В то же время все чисто системные особенности строения и функционирования любой требующей эффективного управления конкретной сложной системы (такие, как состав и структура образующих ее компонент, характеризующих их состояние параметров, связей между ними и пр.) совершенно не зависят от предметной специфики ее подсистем и протекающих в них процессов и вполне могут быть формализованы и описаны на едином и понятном для всех предметных специалистов математическом языке. Базовая понятийная основа такого языка может быть построена на основе совместного использования основных понятий и языков общей теории систем [60], математической логики и теории множеств, теории графов и теории матриц, обычной алгебры и математического анализа, а также (для учета случайностей) теории вероятностей.

Общедоступной и понятной для специалистов различных предметных областей основой создания такого языка может стать наглядное легко интерпретируемое граф-схемное изображение и соответствующее ему матрично-структурное представление состава и взаимосвязи компонент сложных систем и характеризующих их состояние параметров.

Для методологии анализа сложных систем важно то, что направленными графами можно изображать не только их иерархическую структуру и определяемые ею организационные и параметрические внутренние и внешние связи системы, но и любые функциональные и причинно-следственные связи внутри систем, между системами, а также между характеризующими их состояние параметрами. В зависимости от целей разработки имитационной модели сложной системы средства ее формализованного описания, компьютерной реализации и последующего анализа должны обеспечивать возможность исследования этой системы на любом важном для эффективного управления ею и протекающими в ней сложными процессами, необходимом для такого управления содержательном уровне: *объектном, субъектном, событийно-процессном, логико-функциональном и параметрическом*, а в случае необходимости – и на любых их комбинациях.

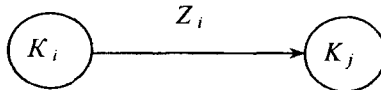
На *объектном уровне* основными компонентами системы являются составляющие ее объекты, а ее функционирование рассматривается как движение в ней потоков масс, энергии, информации и прочих субстанций между этими объектами.

На событийно-процессном уровне основными компонентами сложной системы выступают различные события или процессы (упорядоченные во времени комплексы событий), а ее функционирование рассматривается как последовательность реализации этих событий и их комплексов во времени и пространстве.

На логико-функциональном уровне в качестве компонент сложной системы выступают управляющие структурой составляющих ее объектов логические условия и наложенные на их функционирование и протекающие в них процессы параметрические ограничения.

На параметрическом уровне компонентами системы считаются параметры состояния и связей составляющих ее объектов, а ее функционирование рассматривается как требующее управления целенаправленное преобразование структуры и изменение параметров этих компонент во времени и пространстве.

Независимо от уровня, на котором осуществляется исследование системы (объектном, событийном или параметрическом), ее формализованный анализ начинается с представления системы ориентированным графом  $G$ , узлы  $U$  которого символизируют компоненты  $K$  системы, их состояния  $S$  или значения параметров  $X$  этих состояний, а ориентированные дуги  $D$  ( $\longrightarrow$ ) – наличие направленной от одного конкретного компонента  $K_i$  к другому  $K_j$  непосредственной связи  $Z_{ij}$  между



При этом  $Z_{ij}$  может означать либо знак направленной связи от  $K_i$  к  $K_j$  (тогда  $Z_{ij} = +1$  или  $Z_{ij} = -1$ ), либо линейный коэффициент  $k_{ij}$  интенсивности этой связи, если  $X_j = k_{ij} * X_i$ , либо функцию  $F_{ij}$ , если  $X_j = F(X_i)$ , где  $X_i$  и  $X_j$  – параметры состояния компонент  $K_i$  и  $K_j$ . Кроме того, дуги графа системы могут быть помечены еще такими важными характеристиками ее функционирования, как лаги  $\tau_{ij}$  или запаздывания, которые определяют через сколько единиц времени с момента изменения состояния компоненты  $k_i$  произойдет вызванное им изменение состояния компоненты  $k_j$ . Наличие лагов  $\tau_{ij}$  – характерная особенность связей любой реальной сложной системы, и потому они обязательно должны рассматриваться и учитываться при анализе ее функционирования.

Еще одной важной характеристикой таких связей может быть вероятность их реализации, если эти связи имеют стохастическую природу и реализуются не обязательно, а случайно – с некоторой вероятностью  $p_{ij}$ . В случае необходимости на графе могут указываться все характеристики его связей. Иллюстративный пример графа небольшой 9-компонентной системы, рассматриваемой на параметрическом уровне с детерминированными запаздывающими линейными связями между ее компонентами-параметрами, приведен на рис.5.6.

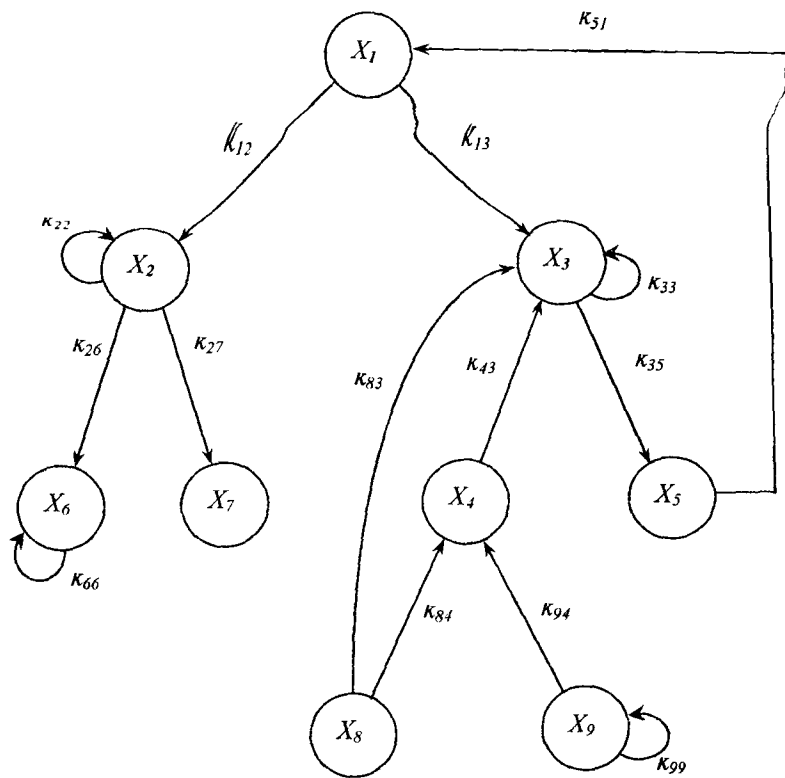
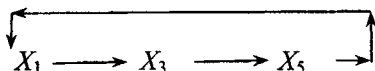


Рис. 5.6. Граф связей параметров  $X$  в 9-компонентной системе

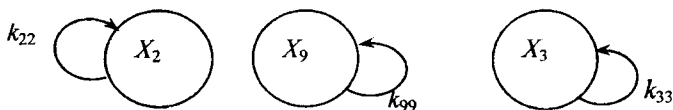
Структура связей этого иллюстративного графа выбрана таким образом, чтобы в ней присутствовали все основные характерные для любой сложной системы виды связи:

- звенья непосредственных связей типа  $X_1 \longrightarrow X_2, X_4 \longrightarrow X_3$  и др.;
- цепочки связей типа  $X_8 \longrightarrow X_4 \longrightarrow X_3 \longrightarrow X_5 \longrightarrow X_1$   
 $\longrightarrow X_2 \longrightarrow X_7$ , формирующих из последовательно сопрягающихся непосредственных связей множества образуемых ими опосредованных связей типа  $X_8 \dashrightarrow X_1, X_4 \dashrightarrow X_2, X_5 \dashrightarrow X_7, X_8 \dashrightarrow X_7$  и пр.;

- ветвящиеся связи типа  $X_1 \begin{matrix} \nearrow X_2 \\ \searrow X_3 \end{matrix}, X_2 \begin{matrix} \nearrow X_6 \\ \searrow X_7 \end{matrix};$
- сходящиеся связи типа  $\begin{matrix} X_8 \\ X_4 \end{matrix} \begin{matrix} \searrow \\ \nearrow \end{matrix} X_3, \begin{matrix} X_8 \\ X_9 \end{matrix} \begin{matrix} \searrow \\ \nearrow \end{matrix} X_4;$
- замкнутые контуры связей (контуры обратных связей)



- автосвязи (влияние компоненты системы или ее параметра самой на себя)



Наличие автосвязи (воздействия компоненты системы самой на себя) свидетельствует о сложности этой компоненты и о существовании скрытых, но явно не показываемых или еще не выявленных связей между параметрами ее состояния.

Изображение сложной системы графом  $G$  – это первый шаг ее формализованного анализа, основной целью которого является наглядное и легко интерпретируемое изображение всех непосредственных связей воздействий и зависимостей) в системе, используя которое можно выявить и исследовать все действующие в ней цепи, ветви и замкнутые контуры связей. Особенно актуальным представляется выявление имеющихся в сложных системах контуров



отрицательной обратной связи, действие которых лежит в основе механизмов, порождающих циклические изменения многих характеристик хозяйственно-экономической деятельности, таких, как колебания цен, циклы предложения и спроса на товары и услуги, циклы эксплуатации возобновляемых лесных и других биоресурсов, волны инвестиционной активности, долгопериодные циклы макроэкономических показателей (циклы Кондратьева), и пр. Наличие отрицательных обратных связей в биосфере как одной из подсистем любой социально-экономической системы порождает циклические колебания численности многих коммерчески ценных живых организмов в таких имеющих подобные связи типах систем, как система конкурирующих по продуктам питания или условиям жизни видов, система типа паразит – хозяин, хищник – жертва и пр.

Учитывая то, что выделение всех таких цепей и контуров путем визуального анализа граф-схемных изображений сложных систем особенно при числе элементов  $N$  от 50 до 100 крайне затруднительно, а при  $N > 100$  практически невозможно, то для решения этих задач необходимо использовать свободные от ограничений человеческого восприятия формализованные средства, которые легко реализуются на персональных компьютерах. Наиболее удобным из таких средств является общеизвестное представление граф-схемных изображений сложных систем и связей между их компонентами или параметрами состояния в виде матриц:

	$X_1$	$X_2$	...	$X_j$	...	$X_N$
$X_1$						
$X_2$						
⋮						
$X_i$				$S_{ij}$		
⋮						
$X_N$						

В такой матрице, имена строк  $X_i$  и столбцов  $X_j$  которой символизируют параметры состояния компонент системы, на пересечении каждой  $i$ -ой строки и каждого  $j$ -го столбца стоит или 0,

если параметр  $X_i$  никак не влияет на параметр  $X_j$ , или, если такое влияние имеется, – символ  $S_{ij}$ , который может характеризовать некоторые особенности этого влияния.

Очевидно, что при такой форме матричного представления сложной системы именам строк  $X_i$  и столбцов  $X_j$  матрицы отвечают имена узлов графа, которые олицетворяют параметры  $X_i$  и  $X_j$  системы, а непустым (отличным от 0) элементам  $S_{ij}$  матрицы – связи между этими параметрами. При этом наличие непустого элемента  $S_{ij}$  на пересечении  $i$ -й строки и  $j$ -го столбца матрицы свидетельствует о том, что параметр  $X_i$  системы имеет непосредственное влияние на ее параметр  $X_j$ , или, что то же самое, параметр  $X_j$  системы непосредственно зависит от ее параметра  $X_i$ . В таких матрицах непосредственных связей каждая ее строка  $i$  определяет набор (вектор) параметров  $X_j$  системы, которые испытают непосредственное влияние  $X_i \implies X_j$  на них параметра  $X_i$ ; каждый столбец  $j$  определяет набор (вектор) параметров  $X_j$ , которые сами непосредственно зависят  $[X_j = F(X)]$  от влияющих на него параметров  $X_i$ ; а вся матрица в целом – определяет всю совокупность параметров  $X$  системы и действующих между ними непосредственных связей  $S_{ij}$ .

Поэтому вторым шагом формализованного анализа связей параметров сложной системы является представление изображающего эти связи графа соответствующей ему квадратной матрицей  $M_Z$  размерностью  $N \times N$ , где  $N$  – количество параметров состояния компонент системы. При таком представлении наличие непосредственной связи между компонентами  $K_i$  и  $K_j$  системы отображается наличием **единицы** в клетке  $ij$  представляющей ее матрицы  $M_Z$ , а отсутствие связи – **нолем** в этой клетке. Такая ноле-единичная (булева) матрица называется матрицей смежности графа системы и может служить основой для дальнейшего формализованного анализа ее функционирования.

В прикладных исследованиях матрицы смежности, представляющие в матричной форме структуру действующих в системе непосредственных связей, вполне оправданно названные Л.Г.Шатихиным структурными [61], широко использовались им и продолжают использоваться его последователями при разработке и анализе систем управления техническими, производственно-экологическими, урбанистическими и другими сложными системами.

Такую матрицу исходных или непосредственных связей в системе будем называть матрицей связей первой степени. Анализируя эту

матрицу вместе с соответствующим ей графом исходных связей системы, можно последовательно выявить все опосредованные связи (влияния и зависимости) 2-й, 3-й, 4-й и других ступеней, построить отдельные матрицы связи для каждой такой ступени и, логически объединив их в одну общую матрицу, получить полную структурную матрицу связей системы. Полная структурная матрица связей между параметрами системы несет подробную информацию об этой системе, необходимую для ее детализированного анализа и выработки научно-обоснованного подхода к решению задач ее моделирования, прогноза поведения и развития, а также для выбора наиболее эффективных и безопасных путей регулирования параметров системы для достижения тех или других целей управления ею. В частности, каждая строка полной структурной матрицы системы содержит информацию о всех непосредственных и опосредствованных влияниях соответствующего ей параметра  $X_i$  системы на другие ее параметры  $X_j$  с указанием ступеней, на которых реализуется каждое из таких влияний.

По полной структурной матрице системы легко выделяются все пассивные, малоактивные и наиболее активные и вместе с тем имеющие максимальную глубину влияния параметры; все независимые, малозависимые и наиболее зависимые параметры системы, а также определяются пути влияний и зависимостей любого параметра или группы параметров системы.

Особо ценной является возможность быстрого и однозначного выделения по полной структурной матрице всех замкнутых контуров обратной связи: всем входящим в эти контуры, параметрам системы соответствуют непустые диагональные элементы полной структурной матрицы.

Ценность выделения таких замкнутых контуров обратной связи среди цепей влияний и зависимостей параметров системы заключается в том, что даже при линейных индивидуальных связях  $X_i \implies X_j$  между отдельными образующими такой контур параметрами поведение этих параметров во времени становится существенным образом нелинейным, что крайне важно учитывать при анализе и прогнозе поведения и развития имеющих замкнутые контуры связи сложных систем.

В исследованиях Л.Г.Шатикина [61] построение полных структурных матриц осуществлялось посредством совместного визуального анализа графа непосредственных связей системы и

соответствующей ему матрицы смежности, названной нами структурной матрицей связей первой ступени. Так как при большом количестве параметров состояния компонент системы визуальный подход к построению полных матриц ее связей практически нереализуем, нами разработан кратко излагаемый ниже алгоритм формализованного получения таких матриц на персональных компьютерах средствами EXCEL посредством осуществления логических операций со структурной нуле-единичной (булевой) матрицей непосредственных связей в системе.

Если для исследуемой системы известны не только наличие и направленность непосредственных связей  $Z_{ij}$  между параметрами состояния ее компонент, но и линейные коэффициенты  $k_{ij}$  этих связей, то на базе таких коэффициентов строится матрица  $M_k$  их значений, которая может использоваться как основа для количественного анализа динамики параметров системы, прогноза ее функционирования и возможного развития в ней критических ситуаций, которые могут произойти при достижении отдельными параметрами состояния компонент системы опасных значений.

Для осуществления такого анализа и прогноза нужна также матрица  $M_t$  лагов  $\tau_{ij}$  связей между непосредственно взаимодействующими компонентами системы или их взаимосвязанными параметрами, а для стохастических систем – матрица  $M_p$  вероятностей  $p_{ij}$  реализации этих связей. Иллюстративные примеры таких матриц, соответствующих графу системы, изображенному на рис.5.6, приведены на рис 5.7.

Формализованный анализ функционирования системы, осуществляемый на ПК, выполняется на третьем и четвертом шагах ее исследования. При этом на третьем шаге проводится ее формализованный структурный анализ, целью которого является выявление всего комплекса как непосредственных, так и опосредованных связей (зависимостей и влияний) между компонентами или параметрами системы, построение соответствующей этому комплексу полной матрицы всех связей системы и выделение из них замкнутых контуров таких связей.

Выделение и исследование всех таких контуров очень важно, так как на уровне событий они свидетельствуют о наличии в системе так называемых порочных кругов логических правил, которые приводят к возникновению в управлении ею неразрешимых противоречий, а на параметрическом уровне они являются одним из главных факторов,

порождающих нелинейности в динамике параметров системы, и могут стать причиной выхода их на критические и даже опасные для существования системы режимы.

Полный комплект матриц основных характеристик связей в системе

$i^j$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$i^j$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$
$x_1$		$k_{11}$	$k_{12}$							$x_1$		1	1						
$x_2$		$k_{22}$				$k_{26}$	$k_{27}$			$x_2$		1				1	1		
$x_3$			$k_{33}$		$k_{35}$					$x_3$			1		1				
$x_4$			$k_{43}$							$x_4$			1						
$x_5$	$k_{51}$									$x_5$	1								
$x_6$						$k_{66}$				$x_6$						1			
$x_7$										$x_7$									
$x_8$			$k_{83}$	$k_{84}$						$x_8$			1	1					
$x_9$				$k_{94}$					$k_{99}$	$x_9$				1					1
Матрица коэффициентов связей системы										Структурная матрица связей системы									
$i^j$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$i^j$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$
$x_1$		$\tau_{11}$	$\tau_{12}$							$x_1$		$p_{11}$	$p_{12}$						
$x_2$		$\tau_{21}$				$\tau_{26}$	$\tau_{27}$			$x_2$		$p_{21}$				$p_{26}$	$p_{27}$		
$x_3$			$\tau_{33}$		$\tau_{35}$					$x_3$			$p_{33}$		$p_{35}$				
$x_4$			$\tau_{43}$							$x_4$			$p_{43}$						
$x_5$	$\tau_{51}$									$x_5$	$p_{51}$								
$x_6$						$\tau_{66}$				$x_6$						$p_{66}$			
$x_7$										$x_7$									
$x_8$			$\tau_{83}$	$\tau_{84}$						$x_8$			$p_{83}$	$p_{84}$					
$x_9$				$\tau_{94}$					$\tau_{99}$	$x_9$				$p_{94}$					$p_{99}$
Матрица запаздываний связей системы										Матрица вероятностей реализации связей системы									

Рис. 5.7. Матрицы, характеризующие интенсивность  $k_{ij}$ , структуру  $S_{ij}$ , лаги  $\tau_{ij}$  (запаздывания) и вероятности  $p_{ij}$  реализации непосредственных (исходных) связей в системе

На четвертом шаге проводится исследование динамики параметров системы и дается оценка времени возможного достижения

ими критических значений. Практическая реализация последних двух шагов строится на использовании структурной ноле-единичной матрицы непосредственных связей в системе, матрицы лагов таких связей и матрицы линейных коэффициентов, характеризующих интенсивность этих связей. Так, если  $M_Z$  – ноле-единичная (булева) матрица непосредственных связей (связей первой ступени) между компонентами или параметрами системы, что удобно обозначать первой степенью этой матрицы, т.е. символом  $M^1_Z$ , то связи второй ступени будут определяться матрицей  $M^2_Z$ , являющейся второй степенью исходной матрицы  $M^1_Z$ , т.е.

$$M^2_Z = M^1_Z \otimes M^1_Z \quad (5.1)$$

где  $\otimes$  означает операцию логического умножения матриц. Обобщенная формула, определяющая матрицу опосредованных связей или воздействий любой конкретной  $C$ -й ступени имеет вид

$$M^C_Z = M^{C-1}_Z \otimes M^1_Z \quad (5.2)$$

а полная матрица связей всех  $C$ -степеней, обозначаемая символом  $M^{(C)}_Z$ , равна логической сумме матриц связи всех отдельных ступеней от первой до  $C$ -й :

$$M^{(C)}_Z = M^1_Z \vee M^2_Z \vee \dots \vee M^C_Z \quad (5.3)$$

где  $\vee$  – знак дизъюнкции.

Такое логическое сложение длится до выполнения равенства  $M^{(C+1)}_Z = M^{(C)}_Z$ , которое означает, что самая большая длина связей в системе не превышает значения  $C$ .

Построенная таким образом полная структурная матрица  $M^{(C)}_Z$  всех связей в системе позволяет вычлнить и исследовать любые возможные в ней цепочки влияний и зависимостей между компонентами или параметрами системы. Использование в качестве исходных данных для построения полных матриц всех связей в системе матриц характеристик только непосредственных связей намного облегчает и ускоряет диагностическое исследование и моделирование поведения системы. Иллюстративный пример полной структурной матрицы всех связей для рассмотренной выше 9-компонентной системы приведен на рис. 5.8.

В левой части рис.5.8 приведена структурная матрица исходных (непосредственных) связей в системе, а в правой – полученная из нее по описанному выше алгоритму полная матрица всех связей как непосредственных, так и опосредованных. Единицы, находящиеся в любой строке  $i$  полной матрицы выделяют все элементы  $X_j$  системы, на которые влияет заглавный элемент  $X_i$  этой строки, а единицы в любом столбце  $j$  выделяют все элементы  $X_i$ , зависящие от заглавного элемента  $X_j$  этого столбца. Кроме того, справа от полной матрицы связей приведена частная сводная таблица, показывающая для каждого параметра  $X_i$  системы количество  $n_1$  всех оказываемых им непосредственных воздействий на другие параметры  $X_j$  системы, количество  $n_c$  всех опосредованных воздействий разных ступеней  $C$  на другие компоненты и общее количество  $n$  всех воздействий.

$i \setminus j$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_8$	$i \setminus j$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$n_1$	$n_c$	$n$
$x_1$	0	1	1	0	0	0	0	0	0	$x_1$	1	1	1	0	1	1	1	0	0	2	4	6
$x_2$	0	1	0	0	0	1	1	0	0	$x_2$	0	1	0	0	0	1	1	0	0	3	0	3
$x_3$	0	0		0	1	0	0	0	0	$x_3$	1	1	1	0	1	1	1	0	0	$n_1$	$n_c$	6
$x_4$	0	0	1	0	0	0	0	0	0	$x_4$	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	5	6
$x_5$	1	0	0	0	0	0	0	0	0	$x_5$	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	5	6
$x_6$	0	0	0	0	0	1	0	0	0	$x_6$	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1
$x_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$x_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$x_8$	0	0	1	1	0	0	0	0	0	$x_8$	1	1	1	1	1	1	1	0	0	2	5	7
$x_9$	0	0	0	1	0	0	0	0	0	$x_9$	1	1	1	1	1	1	1	0	1	2	6	8
										$m_1$	1	2	4	2	1	2	1	0	1	14		
										$m_c$	5	5	2	0	5	6	6	0	0		29	
										$m$	6	7	6	2	6	8	7	0	1			43

Рис. 5.8. Исходная (слева) и полная (справа) структурные матрицы связей в рассматриваемой 9-компонентной системе

Точно так же в аналогичной частной сводной таблице под этой матрицей для каждого параметра  $X_i$  системы показаны количества его непосредственных ( $m_1$ ), опосредованных ( $m_c$ ) и всех вместе ( $m$ ) зависимостей от других параметров. Из этих сводных таблиц следует, что самой активной компонентой системы является  $X_9$ , которая оказывает воздействие на наибольшее (8) число других ее компонент;

самой зависимой является компонента  $X_6$ , которая также зависит от наибольшего (8) числа других компонент, а самыми пассивными и независимыми являются соответственно элементы  $X_7$  и  $X_8$ . Между этими частными сводными таблицами приведена диагональная итоговая сводная таблица, показывающая общее число непосредственных (14), опосредованных (29) и всех (43) связей в рассматриваемой 9-компонентной системе.

Полная структурная матрица всех связей оказывается очень полезной и при выборе тех элементов системы, воздействуя на которые, можно управлять режимом ее функционирования. Для облегчения такого выбора необходимо единицы в поле этой матрицы, которые только констатируют наличие связи между отдельными парами элементов системы, заменить легко определяемыми на ПК по специальному алгоритму номерами  $S$  ступеней этой связи. Полученная таким образом новая структурная матрица, называемая матрицей ступеней связей в системе, дает возможность определить для любой ее компоненты  $X_i$  все цепочки ее последовательного воздействия на другие компоненты  $X_j$  системы, а для любой компоненты  $X_j$  – все цепочки ее зависимости от различных компонент  $X_i$  этой системы. Для рассматриваемой нами 9-компонентной системы такая матрица ступеней связи приведена на рис.5.9.

$i \setminus j$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$
$x_1$	3	1	1		2	2	2		
$x_2$		1			0	1	1		
$x_3$	2	3	1		1	4	4		
$x_4$	3	4	1		2	5	5		
$x_5$	1	2	2		3	3	3		
$x_6$						1			
$x_7$									
$x_8$	3	4	1	1	2	5	5		
$x_9$	4	5	2	1	3	6	6		1

Рис.5.9. Матрица ступеней связей в системе (по строкам – воздействия, по столбцам – зависимости)



Из этой матрицы следует, что цепочка последовательных воздействий  $\rightarrow^C$  разных ступеней  $C$  самой активной компоненты  $X_9$  системы на другие ее компоненты имеет вид

$$X_9 \rightarrow^1 (X_9, X_4) \rightarrow^2 X_3 \rightarrow^3 (X_3, X_5) \rightarrow^4 X_1 \rightarrow^5 X_2 \rightarrow^6 (X_2, X_6, X_7),$$

а цепочка зависимостей  $\leftarrow^C$  разных ступеней  $C$  самой зависимой компоненты  $X_6$  системы от других ее компонент – вид  $X_6(X_6) \leftarrow^1 X_2(X_2) \leftarrow^2 X_1 \leftarrow^3 X_5 \leftarrow^4 X_3(X_3) \leftarrow^5 X_8, (X_4 \leftarrow^6 (X_8, X_9(X_9)))$ .

Важно отметить, что при наличии в системе многозвенных замкнутых контуров обратной связи полная структурная матрица связей системы легко может быть разложена на две составляющие: симметричную матрицу  $M^{(C)}_{SZ}$  замкнутых в контур цепочек связи и несимметричную матрицу  $M^{(C)}_{UZ}$  незамкнутых цепочек связи, которые удовлетворяют равенствам  $M^{(C)}_Z = M^{(C)}_{SZ} + M^{(C)}_{UZ}$ ;  $M^{(C)}_{SZ} = M^{(C)}_Z \wedge TM^{(C)}_Z$ , где  $TM^{(C)}_Z$  – транспонированная матрица  $M^{(C)}_Z$ , а знак конъюнкции  $\wedge$  обозначает почленное логическое сложение матриц  $M^{(C)}_Z$  и  $TM^{(C)}_Z$ . Тогда матрица  $M^{(C)}_{UZ}$  всех незамкнутых цепочек связей в системе определится формулой  $M^{(C)}_{UZ} = M^{(C)}_Z - M^{(C)}_{SZ}$ . Примеры такого разложения полной структурной матрицы на симметричную и несимметричную составляющие для рассматриваемой иллюстративной системы приведены на рис.5.10.

$i \setminus j$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$
$x_1$	1		1		1				
$x_2$		1							
$x_3$	1		1		1				
$x_4$									
$x_5$	1		1		1				
$x_6$						1			
$x_7$									
$x_8$									
$x_9$									1

Симметричная составляющая полной структурной матрицы связей системы

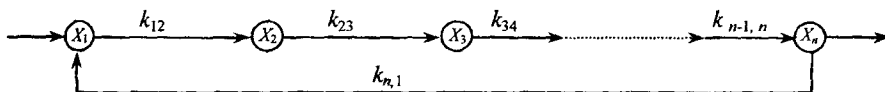
$i \setminus j$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$
$x_1$		1				1	1		
$x_2$						1	1		
$x_3$		1				1	1		
$x_4$	1	1	1		1	1	1		
$x_5$		1				1	1		
$x_6$									
$x_7$									
$x_8$	1	1	1	1	1	1	1		
$x_9$	1	1	1	1	1	1	1		

Несимметричная составляющая полной структурной матрицы связей системы

Рис.5.10. Структурные матрицы замкнутых (слева) и разомкнутых (справа) цепочек связей в системе

В частности, из расположения единиц в поле симметричной составляющей полной матрицы связей этой системы следует, что в ней имеется единственный контур обратной связи, который образован компонентами  $X_1, X_3, X_5$ . Аналогичным образом расположение единиц в поле ее несимметричной составляющей свидетельствует о том, что порождаемые этим контуром нелинейности будут распространяться через принадлежащий ему параметр  $X_1$  на зависящие от него параметры  $X_2, X_6, X_7$ .

Выделение в явном виде симметрической составляющей  $M^{(C)}_{SZ}$  полной структурной матрицы  $M^{(C)}_{SZ}$  связей системы автоматически определяет все имеющиеся в ней контуры замкнутых обратных связей и при наличии данных о линейных коэффициентах  $k_{ij}$  связи между непосредственно связанными параметрами системы позволяет детально их исследовать. При этом для любого замкнутого контура с  $n$  звеньями связи



коэффициентами  $k_{12}, k_{23}, \dots, k_{n-1,n}, k_{n1}$  этих связей и лагами  $\tau_{12}, \tau_{23}, \dots, \tau_{n-1,n}, \tau_{n1}$  в каждом из таких звеньев, общий коэффициент  $k_{1n}$  обратной связи в образуемом ими контуре равен произведению  $k_{1n} = k_{12} \cdot k_{23} \cdot \dots \cdot k_{n-1,n} \cdot k_{n1}$ , общий лаг  $\tau_{1n}$  этого контура определяется суммой  $\tau_{1n} = \tau_{12} + \tau_{23} + \dots + \tau_{n-1,n} + \tau_{n1}$ , а сам контур в общем случае может быть представлен в компактной форме

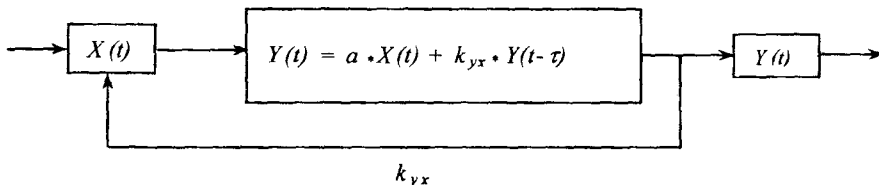


Рис.5.11. Общий вид контура обратной связи

Выделение и всестороннее исследование таких замкнутых контуров обратной связи позволяют выявить те из них, которые при

определенных значениях общего коэффициента  $k_{yx} = k_{1n}$  связи этого контура могут стать причиной возникновения в системе критических ситуаций. Так, при отрицательном общем коэффициенте  $k_{yx}$  обратной связи в системе возникают или затухающие (при  $-1 < k_{yx} < 0$ ), или постоянные (при  $k_{yx} = -1$ ), или возрастающие по амплитуде (при  $k_{yx} < -1$ ) циклические колебания с периодом общеконтурного запаздывания  $L = 2\pi$ . Именно этот механизм действия отрицательной обратной связи может быть причиной возникновения долгопериодных циклических колебаний (длинных волн) многих важных параметров крупных экономических, эколого-экономических, производственно-технических и прочих сложных систем.

При наличии в системе замкнутого контура с положительным коэффициентом обратной связи, т.е. при  $k > 0$  принадлежащие этому контуру параметры состояния системы начинают быстро возрастать (особенно при  $k > 1$ ), что с течением времени может привести к возникновению в системе критических ситуаций. Примерами таких ситуаций являются безудержный рост цен на энергию, энергоносители и связанные с их использованием энергоемкие товары и услуги, возникновение инфляции, рост безработицы и вспышки недовольства населения, которые при достижении критических уровней могут привести к социальному взрыву, нарастанию нестабильности и разрушению виновной в этом политической системы.

Характерные эффекты зависимости поведения выхода  $Y(t)$  простейшего замкнутого контура обратной связи  $Y(t) = X(t) + k * Y(t - \tau)$  от знака и величины коэффициента  $k$  этой связи показаны в иллюстративном примере на рис.5.12. Пунктирной линии на этом рисунке соответствует случай отсутствия обратной связи, для которого  $k=0$ .

Как видно из рис.5.12, наличие даже одного контура обратной связи может привести к радикальному изменению характера динамики параметров состояния компонент системы, в частности к появлению в динамике этих параметров существенных нелинейностей даже при линейности всех непосредственных связей между этими параметрами. В реальных сложных системах таких контуров может быть много, а если эти контуры еще и пересекаются (проходят через общие параметры), то это может привести к охвату такими

контурами практически всех параметров системы, что, в свою очередь, может сделать поведение системы непредсказуемым.

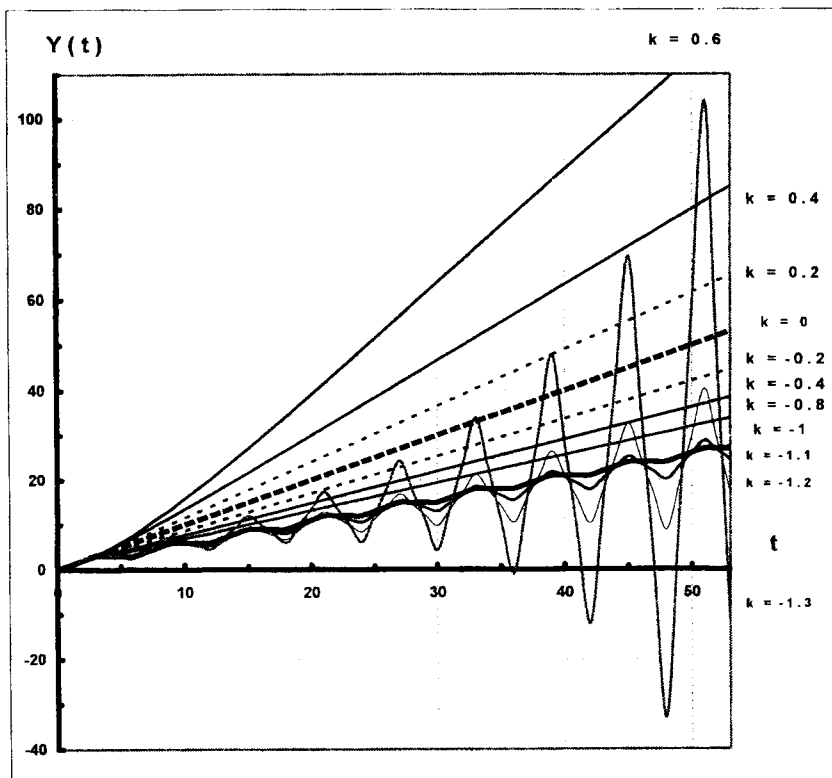


Рис. 5.12. Эффекты влияния знака и величины коэффициента обратной связи  $k$  на динамику выхода  $Y(t)$  системы с такой связью

Именно этим можно объяснить, по нашему мнению, многие примеры совершенно неожиданных вариантов развития событий в охватывающих обширные территории больших эколого-экономических, социально-политических, государственных, межгосударственных и различных имеющих глобальный характер организационных и производственно-технических сложных системах.

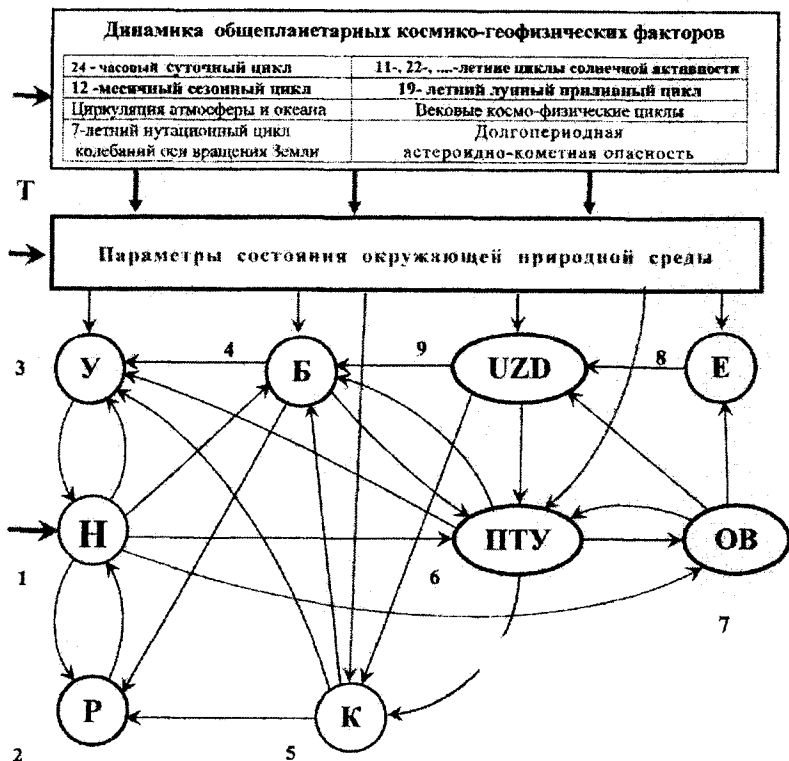
В качестве примера на рис.5.13 показан фрагмент графа непосредственных связей между отдельными параметрами состояния обобщенной социально-экономической системы, подверженной воздействию различных факторов природной среды, а на рис.5.14 представлены основные структурные матрицы связей между этими параметрами: структурная матрица  $M_{исх}$  непосредственных и полная структурная матрица  $M_{полн}$  всех (и непосредственных, и опосредованных) связей. Абсолютная симметричность матрицы  $M_{полн}$ , о которой свидетельствует заполненность всех ее клеток единицами, означает, что каждая компонента этой системы связана контурами обратных связей сама с собой и всеми остальными ее компонентами.

Поэтому выявление всех действующих в любой системе контуров обратных связей, во многом определяющих функционирование и развитие этой системы и поведение ее компонент, представляется необходимым для детального исследования протекающих в ней сложных процессов выработки наилучшей стратегии управления ими.

В заключение отметим, что структурные матрицы связей в системе вместе с матрицами  $M_k$  коэффициентов интенсивности этих связей (линейных коэффициентов  $k_{ij}$ ), матрицей  $M_t$  лагов  $\tau_{ij}$  этих связей и матрицей  $M_p$  вероятностей  $p_{ij}$  их реализации позволяют проводить не только общий и детализированный анализ функционирования системы, но и осуществлять прогноз возможного изменения параметров ее состояния во времени.

В простейшем случае для прогнозирования значений параметров сложной детерминированной системы с одинаковыми для всех связей лагами в некоторый будущий момент времени  $t_0 + t$  при их известных значениях  $X_1(t_0)$ ,  $X_2(t_0)$ , ...,  $X_n(t_0)$  в начальный момент  $t_0$  можно использовать формулу  $X(t_0+t) = X(t_0) * M^t_z$ , где  $M^t_z$  –  $t$ -я степень матрицы коэффициентов  $k_{ij}$  непосредственной связи между компонентами системы.

При решении задач управления сложной системой посредством изменения ее регулируемых параметров  $X_i$  или коэффициентов  $k_{ij}$  их связи с другими параметрами, можно подобрать такие их значения, которые обеспечат стабильность функционирования этой системы и предупредят ее возможное попадание в опасные или критические ситуации.



Основные компоненты модели	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Н - количество населения	1		1	1	1		1	1	
Р - количество родившихся	2	1							
У - количество умерших	3	1							
Б - количество больных	4		1	1			1		
К - уровень благосостояния и качества жизни	5		1	1	1				
ПТУ - производство товаров и услуг	6			1	1	1		1	
ОВ - вредные отходы и воздействия на природную среду	7						1		1
Е - экологическая ёмкость природной среды	8								1
UZD - уровень загрязнения и деградации природной среды	9			1	1	1			

Рис. 5.13. Матричное представление граф-схемного изображения непосредственных связей между компонентами обобщенной модели социально-экологической системы

$$M_{\text{исх}}$$

	<i>H</i>	<i>P</i>	<i>У</i>	<i>Б</i>	<i>К</i>	<i>П</i>	<i>О</i>	<i>Е</i>	<i>U</i>
<i>H</i>		1	1	1		1	1		
<i>P</i>	1								
<i>У</i>	1								
<i>Б</i>		1	1			1			
<i>К</i>		1	1	1					
<i>П</i>			1	1	1		1		
<i>О</i>						1		1	1
<i>Е</i>									1
<i>U</i>				1	1	1			

$$M_{\text{полн}}$$

	<i>H</i>	<i>P</i>	<i>У</i>	<i>Б</i>	<i>К</i>	<i>П</i>	<i>О</i>	<i>Е</i>	<i>U</i>
<i>H</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>P</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>У</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Б</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>К</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>П</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>О</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Е</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>U</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>N</i> <sub>неп</sub>	2	3	4	4	2	4	2	1	2
<i>N</i> <sub>оп</sub>	7	6	5	5	7	5	7	8	7
<i>N</i> <sub>общ</sub>	9	9	9	9	9	9	9	9	9

<i>N</i> <sub>неп</sub>	<i>N</i> <sub>оп</sub>	<i>N</i> <sub>общ</sub>
5	4	9
1	8	9
1	8	9
3	6	9
3	6	9
4	5	9
3	6	9
1	8	9
3	6	9
24		
	57	
		81

Рис. 5.14. Исходная матрица  $M_{\text{исх}}$  непосредственных и полная матрица  $M_{\text{полн}}$  всех (непосредственных и опосредованных) связей в рассматриваемом фрагменте обобщенной модели социально-экологической системы

#### **5.4. Методология использования матрично-структурного подхода при решении задач имитационного компьютерного моделирования сложных процессов и систем в энергетике**

Для успешного решения проблемы анализа и прогноза развития сложных производственно-технических и социально-экономических систем, методология и принципы их формализованного описания должны удовлетворять следующему ряду специальных требований.

1. Обеспечение возможности наглядного легко интерпретируемого и пригодного для компьютерной обработки представления состава, структуры и взаимодействия компонент системы и взаимосвязей характеризующих их состояние параметров;

2. Обеспечение открытости описания системы, т.е. возможности учета ее взаимодействия и связи с другими аналогичными системами и окружающей средой;

3. Обеспечение возможности самостоятельного автономного моделирования и прогноза развития отдельных больших подсистем и блоков сложной системы специалистами соответствующих предметных областей, а также дальнейшего объединения отдельных моделей в единую общую модель путем их автоматической стыковки по всем взаимосвязанным параметрам этих моделей;

4. Обеспечение возможности произвольной агрегации и дезагрегации состава компонент и параметров системы и взаимодействующих с ней других систем, их согласованного рассмотрения в разных пространственно-временных масштабах и в различных разрезах (территориальном, отраслевом и др.);

5. Обеспечение возможности оперативного выявления и анализа для любых компонент и параметров системы произвольной размерности всех их опосредствованных связей и зависимостей по известным непосредственным связям между ними, что позволяет существенно сокращать объем работ по первоначальному описанию функционирования системы и выделять все длинные цепочки таких опосредованных зависимостей и все создаваемые ими замкнутые контуры обратной связи, которые определяют много важных особенностей в поведении и развитии системы;

6. Обеспечение возможности проведения на базе выявленных связей полного структурного анализа взаимодействия компонент системы и взаимосвязей всех ее параметров, а также построения



математических моделей этих взаимодействий и связей с учетом присущих им запаздываний (лагов);

7. Использование для компьютерного анализа, моделирования и прогноза динамики сложных систем единого общедоступного и широко распространенного программного обеспечения, в частности электронных таблиц EXCEL и взаимодействующей с ними базы данных ACCESS, которые могут обеспечить как оперативное взаимосогласованное корректирование всех взаимосвязанных параметров исследуемой системы, так и получение различных вариантов прогноза ее развития;

8. Обязательное отображение в моделях исследуемых систем наличия в этих системах не только функциональных компонент, но и управляющих ими логических блоков, которые реализуют принятые в системе "правила игры" (общегосударственные и ведомственные организационно-правовые и юридические нормы или правила, которые регламентируют работу всех системных компонент), а также наличие в ней элементов случайности в виде непредвиденно возникающих или исчезающих компонент системы, их параметров состояния или связей между ними.

Для удовлетворения перечисленных основных системных требований и обеспечения взаимопонимания и эффективного взаимодействия всех аналитиков и разработчиков прогноза развития сложной системы независимо от предметной области, в которой они ведут исследование, все эти разработчики должны пользоваться одной и той же системной терминологией и одинаковыми средствами представления, описания и моделирования исследуемых систем.

Исходя из принципов общей теории сложных систем, любую экономическую систему, как и любую ее составную часть (подсистему), целесообразно рассматривать, с одной стороны, как составленную из ее сложных компонент (подсистем нижних иерархических уровней) вплоть до неделимых далее простых компонент, называемых элементами, а с другой – как составную часть или подсистему охватывающих ее более крупных систем (надсистем) внешних иерархических уровней.

При решении практических задач количество иерархических уровней как подсистем, так и надсистем по отношению к исследуемой системе всегда принимается конечным. Кроме того, любую сложную систему необходимо рассматривать не изолированно, а вместе с другими – внешними системами, с некоторыми из которых она может активно взаимодействовать.

Таким образом, на общесистемном уровне любую социально-экономическую систему нужно рассматривать как сложную, состоящую из многих образующих ее подсистем и блоков, которая взаимодействует, как с аналогичными ей внешними социально-экономическими системами, так и с окружающей природной средой, в условиях которой функционируют и также взаимодействуют с ней все эти системы.

Анализ функционирования и развития любой реальной (производственно-технической, эколого-экономической, социально-политической и пр.) сложной системы с учетом взаимодействия ее с другими аналогичными системами и природной средой в зависимости от его цели и необходимой детализации можно вести или на уровне только самих этих систем и их основных компонент (подсистем и блоков), или на уровне параметров состояния этих компонент, или комбинированно – на уровне и компонент, и параметров их состояния вместе. В последнем случае, практически наиболее привлекательном, анализ должен вестись, по сути, на уровне параметров состояния компонент элементов системы, причем эти параметры заранее должны быть сгруппированы по принципу их принадлежности конкретным компонентам исследуемой системы.

При осуществлении системного анализа на объектном уровне основными компонентами и элементами системы являются составляющие ее объекты, а функционирование системы рассматривается как движение в ней потоков масс, энергии, информации между этими составляющими. На событийном уровне основными компонентами сложной системы выступают разные события или комплексы событий, а ее функционирование рассматривается как последовательность реализации таких событий или их комплексов. На параметрическом уровне компонентами системы являются параметры состояния составляющих ее элементов, а также количественные и качественные характеристики событий, в которых они принимают участие; функционирование системы рассматривается как реализация взаимовлияний и взаимозависимостей этих параметров и характеристик в ней.

С учетом изложенного выше общая методология построения и использования имитационных компьютерных моделей сложных процессов и систем различной природы (в том числе и в энергетике) сводится к последовательной реализации ряда этапов и детализирующих их сущность операций.

**Этап I.** Определение состава и организационной структуры исследуемой сложной системы и взаимодействующих с ней внешних систем.

1. Для исследуемой системы выбираются (исходя из целей исследования ) и документально фиксируются :

- непосредственно взаимодействующие с ней внешние системы;
- блок непосредственно не взаимодействующих с исследуемой системой внешних систем, но которые могут быть связаны с ней опосредованно через другие взаимодействующие с ней системы;
- общая для исследуемой и выделенных выше внешних систем окружающая среда (чаще всего природная), в пределах и во взаимодействии с которой функционируют все эти системы;
- единая общая надсистема, которая охватывает все выделенные системы и включает их в себя как свои компоненты (подсистемы).

2. Исследуемая и другие выделенные в п.1 системы расчленяются (исходя из целей исследования) на составляющие их подсистемы разных иерархических уровней вплоть до неделимых далее компонент (элементов), и документально фиксируется структура этого расчленения.

**Этап II.** Определение для выделенных на этапе I систем их межсистемных и внутрисистемных (межкомпонентных) взаимодействий.

Для выделенных на этапе I систем и компонент определяются и документально фиксируются все обусловленные целями исследования межсистемные и внутрисистемные (межкомпонентные) непосредственные взаимодействия, которые описываются или только в виде простой констатации их наличия, или (в зависимости от целей исследования и степени изученности выделенных систем) более детально. Фиксирование только непосредственных влияний существенным образом упрощает работу относительно начального описания любой системы, так как все опосредованные влияния, которые порождаются ими, могут быть определены компьютеризированными методами матрично-структурного анализа на следующих этапах исследования.

**Этап III.** Наглядное блок-схемное изображение для всех выделенных на этапах I и II систем их межсистемных и внутрисистемных (межкомпонентных) взаимодействий.

1. Строится общая блок-схема взаимодействий исследуемой сложной системы с выделенными на этапе I внешними системами и

окружающей средой в пределах общей, охватывающих их все, надсистемы.

2. Для каждой из рассматриваемых систем (а при необходимости и для их отдельных подсистем) строится блок-схема ее внутрисистемных межкомпонентных взаимодействий.

3. Среди компонент (подсистем и элементов) каждой системы выделяются только те из них, которые принимают непосредственное участие в межсистемных взаимодействиях, после чего все эти непосредственные взаимодействия документально фиксируются в виде лаконичного (представленного в символьной форме) списка таких взаимодействий с краткой характеристикой каждого из них.

4. На основании данных предыдущих пунктов 1 – 3 и в пределах выделенной на этапе I общей надсистемы строится детализированная блок-схема взаимодействий исследуемых систем в разрезе их непосредственно взаимодействующих компонент (подсистем и элементов).

Примечание: при блок-схемном изображении любой системы ее компоненты изображаются прямоугольниками с вписанными в них символьными именами-идентификаторами этих компонент, а взаимодействия между этими компонентами – сплошными линиями со стрелками, направленными от компоненты, которая служит причиной влияния, к компоненте, которая подвержена этому влиянию.

**Этап IV.** Матрично-структурное представление межсистемных и внутрисистемных взаимодействий исследуемых систем и их компонент и выделение замкнутых циклов (контуров обратной связи) этих взаимодействий.

1. По данным п.п. 1 – 4 этапа III составляется структурная матрица межсистемных (в пределах общей надсистемы) и внутрисистемных (межкомпонентных – в пределах каждой из выделенных на этапе I систем) непосредственных взаимодействий. Для множества из  $N$  взаимодействующих компонент это будет квадратная матрица размерности  $N \times N$ , отдельные строки  $I$  и столбцы  $J$  которой отвечают отдельным конкретным компонентам  $K$  и обозначаются их символьными именами-идентификаторами  $K_i$  и  $K_j$ . При наличии непосредственного действия компоненты  $K_i$  на компоненту  $K_j$  системы в клетке  $ij$  матрицы на пересечении строки  $I$  и столбца  $J$  ставится 1, а при отсутствии такого направленного действия – 0 или клетка  $ij$  остается пустой (не заполняется).

2. На основе матриц, построенных в пункте 1 этапа IV и на базе данных пунктов 3 и 4 этапа III, строится детализированная (покомпонентная) матрица межсистемных взаимодействий, которая отображает наличие всех непосредственных направленных действий между компонентами разных систем, которые принимают участие в межсистемных взаимодействиях.

3. При необходимости на основе структурных матриц, упомянутых в пунктах 1 и 2 данного этапа, строится общая структурная матрица непосредственных взаимодействий компонент всех систем, которые рассматриваются.

4. При наличии запаздываний (лагов) в реализации определенных выше структурными матрицами пунктах 1 – 2 непосредственных взаимодействий между рассматриваемыми системами и их компонентами могут быть построены также соответствующие этим структурным матрицам матрицы лагов, которые определяют множество важных особенностей поведения и развития систем. В этих матрицах на пересечении  $I$ -й строки и  $J$ -го столбца вместо единицы, которая стоит в клетке  $ij$  структурной матрицы, указывается запаздывание  $L_{ij}$ , соответствующее реализации констатированной этой единицей действия компоненты  $K_i$  на компоненту  $K_j$ .

5. Компьютеризированными средствами матрично-структурного анализа выделяются и фиксируются все присущие межсистемным и внутрисистемным действиям компонент цепочки и замкнутые контуры таких воздействий для их последующего анализа и учета при моделировании поведения и прогнозировании развития исследуемой сложной системы.

**Этап V.** Параметризация описания блок-схемного изображения и матрично-структурного представления функционирования сложной системы.

1. Для исследуемой сложной системы и каждой из взаимодействующих с ней других систем определяются состав и организационная структура параметров, характеризующих состояние этих систем и образующих их отдельных компонент. Составляется и документально фиксируется структурированный список выделенных параметров состояния рассматриваемых систем и их компонент, и каждому из этих параметров присваивается порядковый номер, символьное имя-идентификатор и указывается диапазон его допустимых значений.

2. Для каждой из выбранных для анализа систем и ее компонент определяются наличие, направленность и особенности непосредственных связей (воздействий, зависимостей) параметров, которые характеризуют их состояние и функционирование, а также отдельно выделяются группы взаимосвязанных параметров, принимающих участие в межкомпонентных и межсистемных взаимодействиях.

3. На основе блок-схемного изображения взаимодействия сложных систем и их компонент (этап III), а также составленного перечня выявленных непосредственных связей их параметров (пункты 1 – 2 данного этапа) создается наглядное граф-схемное изображение связей этих параметров, если их количество не превышает 20 – 30. При большем числе параметров создается несколько таких граф-схемных изображений – каждое для параметров одной или нескольких взаимодействующих между собой компонент анализируемых систем. Все эти граф-схемные изображения носят чисто вспомогательный характер и предназначены главным образом для облегчения составления структурных и других матриц непосредственных связей выделенных выше (в пунктах 1 – 2) параметров взаимодействующих систем.

Примечание. В граф-схемных изображениях непосредственных связей между параметрами системы узлы графа символизируют параметры состояния системы или ее компонент и изображаются кружками с вписанными в них индексированными символьными именами-идентификаторами этих параметров, тогда как в блок-схемных изображениях взаимодействия компонент системы узлы графа символизируют сами эти компоненты и изображаются прямоугольниками с вписанными в них индексированными символьными именами-идентификаторами изображаемых ими компонент.

4. На экране ПК создается электронная таблица, в поле которой по данным пунктов 1 – 3 о непосредственных связях всех  $N$  параметров анализируемой системы составляется квадратная структурная матрица этих связей (размерностью  $N \times N$ ). Структурная матрица связей параметров системы составляется аналогично структурной матрице взаимодействия их компонент (п.1 этапа IV) с той лишь разницей, что вместо компонент  $K$  в заглавных строках и столбцах этой матрицы фигурируют параметры их состояния  $X$ , а единица в клетке  $ij$  структурной матрицы свидетельствует о наличии непосредственного действия параметра  $X_i$  на параметр  $X_j$  в рамках всего множества выделенных в пункте 1 параметров.

*Примечание.* При построении структурной матрицы размещенные в ее заглавных строках и столбцах символы-идентификаторы должны быть сгруппированы по признаку их принадлежности к отдельным рассматриваемым системам и их компонентам, а в каждой из таких групп – по любым другим признакам, определяемым целями исследования. Такое группирование значительно облегчит проведение дальнейших исследований и содержательную интерпретацию результатов матрично-структурного анализа функционирования сложных эколого-экономических систем.

**Этап VI.** Выполнение общего и детализированного структурного анализа функционирования исследуемой сложной эколого-экономической системы (СЭЭС) и связей параметров ее компонент между собой и с параметрами взаимодействующих с ней других сложных систем.

1. Получение из структурной матрицы исходных (непосредственных) связей параметров рассматриваемой системы полной структурной матрицы связи этих параметров, выполнение ее общего структурного анализа и представление его результатов в виде итоговой таблицы или набора таких таблиц.

2. Выделение компьютеризированными средствами матрично-структурного анализа всех присущих рассматриваемым системам цепочек и замкнутых контуров межсистемных и внутрисистемных (межкомпонентных) связей параметров их состояния для последующего анализа и учета этих связей при моделировании и прогнозе развития исследуемой сложной системы.

3. При наличии запаздываний в реализации зафиксированных в структурной матрице непосредственных связей (воздействий и зависимостей) между параметрами состояния рассматриваемых систем строится (аналогично п.4 этапа IV) матрица  $L$  лагов этих запаздываний. В дальнейшем эта матрица лагов понадобится для оценки запаздываний воздействий в выделенных в п.2 цепочках и замкнутых контурах межсистемных и внутрисистемных (межкомпонентных) связей параметров рассматриваемых систем. Учет таких запаздываний необходим для обеспечения объективности анализа функционирования исследуемой сложной системы и повышения достоверности прогнозов ее поведения и развития.

# ИСХОДНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ИМИТАЦИОННОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ И ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ЭНЕРГЕТИКИ КАК БОЛЬШОЙ СИСТЕМЫ

---

### 6.1. Энергетика как объект имитационного моделирования

Обобщенные методические положения имитационного моделирования отдельных и взаимосвязанных экономических процессов свидетельствует о большой неопределенности конкретных ситуаций, которые надлежит учитывать при изучении динамики параметров ключевых секторов современной экономики. Это объясняется тем, что развитие их зависит от общеэкономических тенденций и они в свою очередь сами масштабно влияют на экономику в целом. Поэтому моделирование таких секторов экономики надлежит осуществлять в четкой функциональной увязке с общим социально-экономическим развитием страны. Состояние социально-экономического развития страны в условиях глобализации мирохозяйственных отношений зависит не только от собственного потенциала, нормативно-правового обеспечения и приоритетов в государстве, ее внешнеэкономической политики, но и многих факторов, влияющих на ситуацию на внешних рынках [62].

В контексте энергообеспечения экономики, жилищно-коммунального сектора и населения под сектором энергетики нужно иметь в виду расширенное понятие, т.е. функционально целостный сектор экономики, деятельность которого направлена в конечном итоге на покрытие потребности страны в энергетических ресурсах. Итак, под энергетикой понимается энергетическое хозяйство – сектор экономики, который охватывает процессы по исследованию и включению в экономический оборот топливно-энергетических ресурсов и обеспечивает добычу, агломерацию (облагораживание), переработку (производство) и транспортировку энергоносителей для энергетических целей, на нетопливные нужды (как сырье) и конечное использование. Менее полное определение энергетического хозяйства характерно для топливно-энергетического комплекса (ТЭК), в рамках которого не



рассматриваются процессы распределения и потребления энергетических ресурсов.

Под расширенным понятием ТЭК (энергетика) понимается (по действующей классификации секторов экономики) такие виды экономической деятельности:

1) *в добывающей промышленности – добыча энергетических материалов:*

- добыча и агломерация каменного угля;
- добыча и агломерация лигнита (бурого угля);
- добыча и агломерация торфа;
- добыча нефти;
- добыча природного газа;
- конденсация и регазификация природного газа для транспортировки;
- услуги, связанные с добычей нефти и газа;
- добыча урановой руды.

2) *в обрабатывающей промышленности:*

- производство кокса, продуктов нефтепереработки и ядерного топлива.

3) *в производстве электроэнергии, газа и воды:*

- производство и распределение электроэнергии;
- производство и распределение газа;
- производство и распределение тепла.

4) *в транспортировке трубопроводами:*

- деятельность трубопроводного транспорта по транспортировке сырой нефти и нефтепродуктов;
- деятельность трубопроводного транспорта по транспортировке газа.

Современная энергетика базируется на использовании *традиционных* (невозобновляемых – уголь, нефть, природный газ и отдельных видов возобновляемых – дрова, торф и гидроэнергия крупных водотоков) и *нетрадиционных – альтернативных* энергетических ресурсов. К *альтернативным энергетическим ресурсам* относятся все возобновляемые источники энергии: биомасса (за исключением дров), солнечная, ветровая, геотермальная энергия, тепловая энергия океана, гидроэнергия (за исключением гидроэнергии крупных водотоков).

ТЭК – ключевой фактор обеспечения устойчивого развития экономики. По своему назначению и характеру деятельности ТЭК страны является мощной инфраструктурой экономики и социальной

сферы, продукция и услуги которой используются главным образом в составе промежуточного продукта в реальных секторах экономики и непосредственно для обеспечения населения электрической и тепловой энергией и топливом.

Предприятиями энергетики в последние годы производится около 30% продукции промышленности. На этих предприятиях сосредоточено около 43% основных средств производства. В ТЭК задействована четвертая часть работающих в промышленности. Больше чем 40% общей экологической нагрузки в стране обусловлены деятельностью предприятий ТЭК.

Основные показатели работы отечественной энергетики по действующей системе классификации экономической деятельности характеризуются данными таблицы 6.1.

Таблица 6.1

**Основные показатели работы предприятий топливно-энергетического комплекса Украины и сравнение их с соответствующими характеристиками промышленности страны в 2000 – 2004 гг.**

Показатели в разрезе видов деятельности ТЭК	Год					
	2000	2001	2002	2003	2004	2005
<i>Производство продукции и услуг предприятиями ТЭК, млн грн:</i> -добыча энергетических материалов	12114,8	13993,2	13993,2	14546,0	17096,9*	20648,4
-производство кокса, продуктов нефтепереработки и ядерного топлива	6092,5	9814,2	15542,3	21441,9	36346,1	40308,6
-производство и распределение электроэнергии, газа и воды	25645,8	26290,9	26646,5	29167,2	65430,2	74382,4
<i>Темп изменения объема производства продукции к предыдущему году, %:</i> -добыча энергетических материалов	101,7	104,8	99,2	103,6	101,9	103,1
-производство кокса, продуктов нефтепереработки и ядерного топлива	92,0	154,3	125,5	108,7	103,4	86,6
производство и распределение электроэнергии, газа и воды	98,2	102,6	101,1	104,7	98,9	102,9
<i>Доля продукции ТЭК в продукции промышленности Украины, %:</i>	26,9	26,9	28,0	26,2	29,7	29,9

Продолжение табл. 6.1

-добыча энергетических материалов	7,5	7,6	6,9	5,6	4,3**	4,6**
-производство кокса, продуктов нефтепереработки и ядерного топлива	3,8	5,3	7,7	8,3	9,1**	8,9**
-производство и распределение электроэнергии, газа и воды	15,9	14,2	13,1	11,2	16,3	16,4
<i>Наличие основных средств отраслей ТЭК по первичной стоимости (на конец года), млн грн:</i>						
-добыча энергетических материалов	38288,9		41170,6	42680,6	49126,3	53661,5
-производство кокса, продуктов нефтепереработки и ядерного топлива	6681,8		9038,5	8988,3	10503,7	11477,6
-производство и распределение электроэнергии, газа и воды	63488,2		95321,5	103671,0	120834,8	130926,0
<i>Доля основных средств в промышленности Украины, %:</i>						
-добыча энергетических материалов	38,0		42,9	42,9	43,0	
-производство кокса, продуктов нефтепереработки и ядерного топлива	13,4		12,1	11,8	11,7	11,7
-производство и распределение электроэнергии, газа и воды	2,3		2,7	2,5	2,5	2,5
	22,3		28,1	28,6	28,8	28,7
<i>Степень износа основных средств отраслей ТЭК, %:</i>						
-добыча энергетических материалов	35,54		36,45	39,56	40,2	
-производство кокса, продуктов нефтепереработки и ядерного топлива	51,87		52,35	48,17	48,2	
-производство и распределение электроэнергии, газа и воды	46,61		58,66	62,02	62,0	
<i>Инвестиции в основной капитал (в действующих ценах), млн грн.:</i>						
-добыча энергетических материалов	2701,4	3523,2	3139,8	3539,2	4929,8	6061,2
-производство кокса, продуктов нефтепереработки и ядерного топлива	427,4	770,2	572,2	1056,5	1397,4	1978,7
-производство и распределение электроэнергии, газа и воды	1847,7	2332,8	2860,0	3544,2	4727,2	3969,0

Доля инвестиций ТЭК в промышленности страны (отраслевая структура), %:	46,6	48,5	43,5	41,3	39,3	36,4
-добыча энергетических материалов	25,3	25,8	20,8	17,9	17,5	17,3
-производство кокса, продуктов нефтепереработки и ядерного топлива	4,0	5,6	3,8	5,4	5,0	5,6
-производство и распределение электроэнергии, газа и воды	17,3	17,1	18,9	18,0	16,8	13,5
Численность работающих людей (всего):		1023975	1010350	1000056	944903	1047718
-добыча энергетических материалов		427426	404471	388372	358359	427232
-производство кокса, продуктов нефтепереработки и ядерного топлива		55541	58162	59119	57617	52335
-производство и распределение электроэнергии, газа и воды		541008	547717	552565	528927	568151
Частное численности работающих по видам экономической деятельности Украины, %:		24,6	25,5	26,2	25,0	26,7
-добыча энергетических материалов		10,3	10,2	10,2	9,5	10,9
-производство кокса, продуктов нефтепереработки и ядерного топлива		1,3	1,5	1,5	1,5	1,3
-производство и распределение электроэнергии, газа и воды		13,0	13,8	14,5	14,0	14,5
Справочно: Производство продукции и услуг промышленностью в целом, млн грн	161218,9	184832,1	202659,3	259502,1	400757,1	453164,4
Наличие основных средств в промышленности по первичной стоимости (на конец года), млн грн	285327,6		339258,7	362598,0	420080,1	456737,5
Инвестиции в основной капитал (в действующих ценах), млн грн	10689,4	13650,5	15112,1	1972,6		35031,1
Численность работающих людей		4164820	3961941	3820596	3781991	3913310

\*Объем реализованной продукции (работ, услуг) по видам экономической деятельности

\*\*Отраслевая структура реализованной продукции услуг

Таким образом, энергетика Украины является мощным сектором экономической системы, в котором сконцентрировано больше одной

четверти экономического потенциала страны. Она разнопланово влияет на экономику и социальную сферу.

Действующая структура экономики характеризуется значительным удельным весом в ней энергоемких видов деятельности. В 2005 г. удельный вес энергоемких отраслей составлял 63,9%, из которых продукция ТЭК составила 29,9% в объеме промышленного производства, т.е. снизилась на 0,2% сравнительно с 2000 г.

В затратах на производство продукции (услуг) энергетическая составляющая изменяется в широком диапазоне. При средних в 2000, 2001 и 2004 годах показателях по экономике доли затрат на энергоносители составляли 29,7, 27,7, 21,7 и 22,3% максимальная их доля в промежуточном потреблении достигает соответственно 88,1, 86,6, 76,1 и 80,7% (теплоснабжение); 85,1, 80,5, 70,1 и 59,8% (электроэнергетика) (табл. 6.2).

Таблица 6.2

**Доля энергетических затрат в промежуточном потреблении по основным видам деятельности в 2000, 2001 и 2004, 2005 гг.\***

Отрасль промышленности	Доля энергетических затрат по видам деятельности (данные 2005г.)							Всего затрат ТЭР			
	Добыча угля и торфа	Добыча углеводородов	Производство коксопродуктов	Нефтепереработка	Электроэнергетика	Газоснабжение	Теплоснабжение	Год			
								2005г.	2004г.	2001г.	2000г.
Сельское хозяйство, охота	0	0,50	0	9,90	1,30	0,10	0	11,80	12,40	14,60	16,00
Лесное хозяйство	0	0,20	0,10	30,90	1,90	0	0	33,10	29,30	32,10	33,00
Рыбное хозяйство	0	0	0	20,60	1,80	0	0	22,40	23,20	21,60	23,60
Добыча угля и торфа	19,50	0,30	0,10	2,70	12,70	0,02	0,30	35,62	38,50	59,00	58,90
Добыча углеводородов	0	12,00	0	3,00	1,90	0	0,60	17,50	16,50	26,80	36,50
Добыча неэнергетических материалов	0,30	2,70	0,60	10,50	16,30	0,30	0,30	31,00	29,90	34,50	33,90
Пищевая промышленность	0	0,80	0	1,45	0,70	0,10	0,10	3,15	2,60	5,00	6,80
Текстильная и кожевенная промышленность	0	0,30	0	0,30	0,80	0	0,10	1,50	1,40	3,10	3,80
Деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленность, издательское дело	0	1,02	0	0,80	1,60	0,20	0,40	4,02	4,10	6,30	6,40

Окончание табл. 6.2

Производство коксoproдуктов	83,90	0,30	1,40	0,40	0,80	0	0,10	86,90	87,60	82,10	78,10
Нефтепереработка	0	69,90	0	1,80	0,50	0	0,20	72,40	75,90	74,70	68,20
Химическое производство, резиновые и пластмассовые изделия	0	10,40	9,80	34,80	3,90	0,90	1,80	61,60	22,10	31,50	30,70
Производство других неметаллических минеральных продуктов	0,30	10,10	3,90	6,10	5,10	1,20	0,30	27,00	21,60	26,90	28,20
Металлургия и обработка металла	3,20	4,20	13,10	1,20	5,10	0,50	0,20	27,50	30,50	35,80	33,90
Производство машин и оборудования	0	0,80	1,00	4,30	1,80	0,10	0,20	8,20	6,90	12,90	16,70
Другие виды производства	0	0,20	1,80	5,80	1,00	0	0,10	8,90	7,40	14,60	16,90
Электроэнергетика	29,60	22,80	3,00	0,80	1,40	1,90	0,30	59,80	70,10	80,50	85,20
Газоснабжение	0	31,30	10,40	1,20	1,40	3,30	1,20	48,80	39,60	73,40	71,70
Теплоснабжение	0,40	51,80	2,80	0,30	14,30	6,40	4,70	80,70	76,10	86,60	88,10
Строительство	0,10	0,30	6,10	0,60	50,60	0	1,60	21,20	15,60	17,10	
Торговля	0,10	0,30	13,40	6,10	1,10	0	0,20	21,00	4,60	10,80	16,00
Транспорт	3,30	0,40	11,20	3,80	2,00	0	0,30	42,90	39,30	52,70	62,00
Государственное управление	0,10	11,80	0	23,80	5,20	1,40	0,60	9,80	5,70	14,70	15,80
<b>В среднем в экономике</b>	<b>0,50</b>	<b>0,60</b>	<b>0,00</b>	<b>3,40</b>	<b>2,80</b>	<b>0,10</b>	<b>2,40</b>	<b>22,30</b>	<b>21,70</b>	<b>27,70</b>	<b>29,70</b>

\*Рассчитано по данным таблиц „затраты – выпуск” за 2000, 2001 и 2004 г.

Доля затрат на энергоносители в последние годы заметно изменяется в первую очередь на энергоемкие производства.

Так, доля затрат на энергоносители в металлургии в 2000 г. составляла 33,9%, в 2001 г. – 35,8%, в 2004 – 30,5% и в 2005 – 27,5% от общей стоимости промежуточного потребления отрасли. При этом подорожание коксующегося угля привело к росту доли энергетических затрат, а взнос других энергоносителей немного снизился. В 2004 г. по сравнению с 2000 г. наибольшими темпами снизились затраты на газоснабжение (на 32,1 процентных пункта), на транспорт (на 22,7 процентных пункта), на уголь и добычу углеводородов (на 20,4 и 20,0 процентных пункта соответственно). И только в производстве коксoproдуктов и нефтепереработке в этот период наблюдается прирост затрат за счет сырья.

Энергетические отрасли, в свою очередь, зависимы от

деятельности сопредельных секторов экономики, продукцию которых они используют в своей производственной деятельности, о чем свидетельствует анализ структуры затрат по данным таблицы “затраты – выпуск” за 2001 г. В **угольной промышленности** при высоком внутриотраслевом обороте собственной продукции наиболее существенные затраты наблюдаются на услуги сбытовых организаций (10,4%), закупку продукции машиностроения (8,3%) и металлургического комплекса (5,3% от общего объема материальных затрат).

Из 70% общего объема затрат смежных отраслей при **добыче углеводородов** 26,6 процентных пункта составляют транспортные услуги, 16,2 – услуги сбытовых организаций, 6,9 и 5,0 – затраты на продукцию металлургического и машиностроительного комплексов, 4,8 и 4,6 – затраты на научно-исследовательские работы и юридические услуги соответственно.

При преобладающих затратах на угольную продукцию (73,8%) в **производстве коксопродуктов** наиболее заметны затраты, связанные с оплатой продукции машиностроения и металлургии (по 4,1%), стоимость услуг сбытовых организаций (2,7%) и транспорта (2,5% в структуре промежуточного потребления).

В **нефтепереработке**, кроме затрат за использованные энергетические ресурсы (74,6%), наиболее существенные затраты отмечаются на услуги сбытовых организаций (17,0%) и транспорта (4,1% стоимости материальных расходов).

После энергетической составляющей значительными расходами в **производстве и распределении электроэнергии** являются: стоимость услуг финансовых посредников (4,9%) и услуг на транспортировку и распределение электроэнергии (3,0%), стоимость машин и оборудования (3,1% стоимости промежуточного потребления).

В структуре расходов предприятий по **газоснабжению** (кроме стоимости газа) преобладают затраты: услуг финансовых посредников (5,8%), продукции металлургии (3,6%) и машиностроения (3,3%), услуг транспорта (2,6%) и сбыта (2,0%).

В **теплоснабжении**, где удельные расходы на энергоносители максимальные в сравнении с другими видами деятельности (86,6%), стоимость продукции услуг других видов незначительная. Наиболее заметные расходы в этом секторе имеет продукция металлургии (2,7%), водоснабжения (2,5%) и финансовое посредничество (1,3% от общей стоимости ее промежуточной продукции).

Наиболее энергоемкими отраслями (видами деятельности) Украины являются металлургический комплекс и электроэнергетика,

в которых потребляется соответственно 31,3 и 29% топлива. В металлургии также используется 28,6% электроэнергии от задействованного ее общего объема в экономике.

Развернутая по видам экономической деятельности структура затрат топлива, теплоэнергии и электроэнергии характеризуется данными табл. 6.3, а структурные соотношения использованных видов топлива – табл. 6.4.

Наиболее употребляемыми энергоносителями в Украине являются природный газ (около 41%), каменный уголь и продукты его переработки, атомная энергия.

Таблица 6.3

**Распределение потребления топливно-энергетических ресурсов в стране по видам экономической деятельности в 2004 г., % к общему объему**

Вид деятельности	Доля затрат ТЭР на всю произведенную продукцию (работу) по видам		
	Топливо	Тепло-энергия	Электро-энергия*
Сельское хозяйство, охота и связанные с ними услуги	0,79	2,63	2,62
Лесное хозяйство и связанные с ним услуги	0,08	0,28	0,11
Рыбное хозяйство	0,00	0,01	0,05
Добыча каменного угля, лигнита (бурого угля) и торфа	0,92	3,92	7,68
Добыча углеводородов; вспомогательные службы	0,87	0,52	0,56
Добыча неэнергетических материалов	1,04	1,73	9,00
Пищевая промышленность и переработка сельскохозяйственных продуктов	2,61	14,65	3,95
Текстильная промышленность и кожевенная промышленность	0,06	0,57	0,27
Производство дерева и изделий из дерева	0,14	0,76	0,36
Производство коксопродуктов	3,30	6,36	1,15
Нефтепереработка	1,61	3,60	1,51
Химическая и нефтехимическая промышленность	9,55	18,71	7,50
Производство других неметаллических минеральных изделий	3,04	1,90	3,19
Металлургия и обработка металла	32,49	16,64	31,45
Производство машин и оборудования	0,77	2,22	3,09
Производство, не отнесенное к другим группам	0,07	0,28	0,34
Производство и распределение электроэнергии	26,98	0,58	2,12
Производство и распределение газообразного топлива	0,41	0,17	0,07



Окончание табл. 6.3

Производство и распределение тепла	8,19	1,81	2,11
Сбор, очищение и распределение воды	0,06	0,37	4,82
Строительство	0,28	0,88	1,16
Оптовая и розничная торговля; торговля транспортными средствами; услуги по ремонту	0,16	0,54	1,09
Гостиницы и рестораны	0,01	0,12	0,15
Транспорт	4,46	3,60	9,10
Почта и связь	0,04	0,50	0,50
Финансовая деятельность	0,01	0,08	0,08
Операции с недвижимостью, сдача в наем и услуги юридическим лицам**	0,35	3,98	2,63
Государственное управление	1,08	7,67	1,58
Образование	0,32	2,63	0,77
Здравоохранение и социальная помощь	0,28	2,00	0,68
Ассенизация, уборка улиц и обработка отходов	0,02	0,06	0,17
Общественная деятельность	0,00	0,02	0,02
Деятельность в сфере отдыха и развлечений, культуры и спорта	0,01	0,18	0,11
Информация, введенная из регистрационной карточки (вид деятельности отсутствует)	0,01	0,04	0,02
<b>Всего</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

\*Без учета затрат на транспортировку и потерь электроэнергии в электрических сетях

\*\*Включая затраты ТЭР по видам деятельности: сдача в наем; деятельность в сфере информатизации; исследования и разработки; услуги юридическим лицам

Энергетические ресурсы в региональном разрезе потребляются очень неравномерно (табл. 6.4). Более всего ТЭР потребляется в индустриально развитых регионах страны: в Донецкой, Днепропетровской, Луганской и Запорожской областях.

При высокой зависимости (коррелированности) параметров экономики и энергетического сектора обеспечения устойчивого социально-экономического развития страны можно достичь на основе стабильного энергообеспечения, существенного *повышения энергетической и экологической безопасности*.

В качестве индикаторов определения уровня энергетической безопасности используется комплекс показателей от уровня изношенности производственных фондов до характеристик объемов поставок энергетических ресурсов из одной страны. Оценки экологической безопасности проводятся на основе прогнозов масштабов вноса энергетики в эмиссии вредных веществ в окружающую среду.

Таблица 6.4

Доля региона в объеме потребления топливно-энергетических ресурсов на энергетические цели, %

Регионы	Год				
	2000	2001	2002	2003	2004
АР Крым	2,2	2,3	2,2	2,3	2,3
Винницкая область	2,5	2,4	2,7	2,6	2,5
Волынская область	1,0	1,1	1,1	1,2	1,1
Днепропетровская область	17,0	17,3	17,4	16,8	16,8
Донецкая область	18,2	18,8	17,2	18,1	17,2
Житомирская область	1,6	1,5	1,6	1,6	1,6
Закарпатская область	1,1	1,1	1,1	1,2	1,3
Запорожская область	6,7	6,5	6,3	6,5	6,6
Ивано-Франковская область	3,3	2,9	3,2	3,3	3,4
Киевская область	3,1	3,1	3,3	3,3	3,4
Кировоградская область	1,3	1,4	1,3	1,2	1,4
Луганская область	7,9	7,7	7,7	7,5	7,6
Львовская область	3,9	4,0	4,0	3,9	3,9
Николаевская область	2,0	2,0	2,0	2,1	2,0
Одесская область	3,1	3,2	3,3	3,1	3,1
Полтавская область	3,9	3,8	4,3	4,0	4,2
Ровенская область	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5
Сумская область	2,4	2,2	2,3	2,3	2,2
Тернопольская область	1,1	1,1	1,1	1,1	1,0
Харьковская область	4,9	4,8	4,9	4,8	5,2
Херсонская область	1,3	1,2	1,2	1,2	1,1
Хмельницкая область	1,6	1,7	1,8	1,7	1,8
Черкасская область	2,5	2,4	2,5	2,5	2,5
Черновицкая область	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
Черниговская область	1,4	1,4	1,5	1,4	1,4
Киев	3,5	3,4	3,5	3,5	3,6
Севастополь	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5
<b>Украина</b>	<b>100</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

## 6.2. Энергетика страны – определяющий фактор ее энергообеспечения

На определение параметров энергообеспечения страны в перспективе влияет большой комплекс факторов, среди которых ключевыми являются макроэкономическая динамика и политика действенного энергосбережения. Основная направленность трансформации экономики Украины определится стратегией ее развития до 2015 г. и базовыми приоритетами экономической политики на дальнейшую перспективу. Среди них важнейшими являются: повышение качества продукции и конкурентоспособности отечественного производства, его перестройка на инновационных началах, внедрение энергосберегающих технологий и мероприятий по энергосбережению, а также ограничения в соответствии с международными обязательствами и требованиями относительно экологической нагрузки производственной сферы, в первую очередь энергетики.

С 2000 г. продукция основных секторов ТЭК росла такими темпами: добыча энергетических материалов возросла на 11,4%, производство кокса, продуктов нефтепереработки и ядерного топлива – в 2,0 раза, производство и распределение электроэнергии, газа и воды – на 6,1%.

Наиболее масштабной подсекцией ТЭК является производство и распределение электроэнергии, которое в рассматриваемом составе производств было наиболее масштабным с умеренным темпом роста и структуры. При этом доля продукции ТЭК (включая сбор, очистку и распределение воды) существенно изменилась (27,2% – в 2000г. до 29,9% в 2005 году от общего объема промышленного производства). Исключение составляет 2002 г., когда отмечается спонтанный рост объемов переработки нефти вследствие приватизации нефтеперерабатывающих заводов и резкого роста поставок российской нефти. В 2004 г. доля продукции этой отрасли выросла на 9,4 процентных пункта по сравнению с ее уровнем в ТЭК в 2000 г., т.е. наблюдается в целом положительная тенденция – снижение доли высокоэнергоёмких секторов экономики. Как следствие – постепенно повышается эффективность использования энергетических ресурсов.

Характеристика динамики и структуры производства продукции отдельных отраслей ТЭК (без ядерного топлива и кокса) приводится в табл. 6.5.

Таблица 6.5

**Темпы роста и структура произведенной продукции в топливно-энергетическом комплексе Украины в 2001 – 2004 гг., %**

Сегменты ТЭК	Темпы роста продукции ТЭК				Структура продукции по сегментах ТЭК			
	Год				Год			
	2001	2002	2003	2004	2001	2002	2003	2004
Добыча каменного и бурого угля и торфа	98,8	96,2	101,5	107,2	19,4	22,8	20,6	16,4
Добыча углеводородов и услуги, связанные с ними, тыс.грн	100,0	100,0	107,6	105,0	15,7	10,3	9,2	5,5
Продукты нефтепереработки, тыс.грн	181,3	126,2	109,3	100,0	16,6	15,9	24,0	26,0
Производство и распределение электроэнергии**	100,9	100,4	103,8	100,9	48,3	51,0	46,2	52,1
Топливо-энергетический комплекс в целом					100,0	100,0	100,0	100,0

\*Статистический бюллетень Украины за январь–декабрь 2002 – 2004 гг.

\*\*Производство и распределение электроэнергии, газа и воды в целом составляли в 2001, 2002, 2003 гг. соответственно: 68,8, 59,6, 68,1%

Топливо-энергетический комплекс (ТЭК) является базовой инфраструктурой экономики и социальной сферы страны, развитие которой обуславливается ожидаемыми темпами и структурой социально-экономического развития. Несогласованные прогнозы развития ТЭК как фактора социально-экономического прогресса будут влиять на динамику экономических процессов. Так, отставание развития ТЭК и реализации задач энергосбережения будет вызывать снижение темпов экономического развития, а неоправданное опережение развития ТЭК при сохранении удельных затрат на единицу объема ВВП приведет к росту энергоемкости ВВП, а значит, будет снижать конкурентоспособность отечественной экономики. Взаимная зависимость ТЭК и ключевых экономических параметров требует комплексного моделирования основных показателей социально-экономического развития и ТЭК.

Деятельность предприятий отраслей ТЭК в 1995 – 2004 гг.

обеспечивала более чем на 46% нужды в топливно-энергетических ресурсах страны, в т.ч. в угле – на 80–93%, природном газе – на 14–24% и нефтепродуктах – более чем на 60%.

В формировании предложения топливно-энергетических ресурсов начиная с 1995 г., существенная часть (на 32,5–37,8%) обеспечивалась за счет добычи природного топлива, в том числе за счет добычи угля (на 19–22%), нефти (на 2,3–2,5%), природного газа (8–10%) и производства электро- и теплотенергии на АЭС и ГЭС-ГАЭС (10,2–14,6%). В настоящее время наибольшая часть (41,1–47,4%) топливно-энергетических ресурсов формируется путем импортирования, в т.ч. угля (4,5–2,3%), нефти (7,4–8,0%), природного газа (29,6–31,8%) и нефтепродуктов (5,1–3,2%). До 4% топливно-энергетических ресурсов страны возвращаются в переходных остатках и около 4% природного газа – в подземных газохранилищах.

Основные тенденции в деятельности отдельных отраслей топливно-энергетического комплекса в последние годы и потенциал других источников и видов энергетических ресурсов в стране характеризуются ниже.

**Электроэнергетика.** На конец 2004 г. в Украине насчитывалось 11583 электростанций общей мощностью 52,86 млн кВт. По сравнению с 1990 г. установленная мощность электростанций Украины уменьшилась на 2,6 млн кВт, или на 2,4%. На настоящее время установленная мощность тепловых электростанций на органическом топливе составила 35,18 млн кВт (66,56% от общей мощности), атомных – 12,83 (24,28), гидравлических и гидроаккумулирующих – 4,78 (9,04) и других электростанций – 0,06млн кВт (0,12%).

В 2004 г. доля мощностей электростанций общего пользования составляла 93,4% от общей мощности электростанций страны.

Сравнительно с 1995 г. в 2004 г. общий объем мощностей электростанций снизился на 1,9%, доля ТЭС уменьшилась на 1,4 пункта, доля АЭС не изменилась, а ГЭС-ГАЭС выросла на 0,4 пункта.

Производство электроэнергии в 2004 г. составляло 182165,2 млн кВт·ч, что на 6,1% меньше, чем в 1995 г. и на 6,3% больше, чем в 2000 г. Производство электроэнергии на тепловых электростанциях на органическом топливе в 2004 г. составило 83222,3 млрд кВт·ч (47,69% от общего производства), на атомных электростанциях – 87022,2 (47,77%), на ГЭС-ГАЭС – 11877,6 (6,52) и других электростанциях – 33,1 млн кВт·ч (0,02%). В сравнении с 1995г. в 2005 г. производство электроэнергии на ТЭС сократилась на 25,3%, на АЭС увеличилось на 26,0, на ГЭС-ГАЭС возросло на 23,8%.

Основными факторами сокращения производства электроэнергии с 270,5 млрд кВт·ч в 1990 г. до 171,4 млрд кВт·ч. в 2000 г. (более, чем в 1,6 раза) были падения объемов производства в экономике, сокращение объемов экспорта электроэнергии в дальнее зарубежье с 28,1 в 1990 г. до 2,4 млрд кВт·ч в 2000 г., или в 11,7 раза, неплатежи потребителей, в том числе населения, за использованную электроэнергию из-за неплатежеспособности, что не позволяло тепловым электростанциям закупать органическое топливо в необходимых объемах, и т.п.

Начиная с 2001 г. и в последующие годы в Украине наблюдается ежегодный рост производства электроэнергии. Так в 2001 г. сравнительно с 2000 г. этот показатель увеличился на 0,93 %, в 2002 г. сравнительно с 2001 г. – на 0,93, в 2003 г. сравнительно с 2002 г. – на 3,86 и в 2004 г. сравнительно с 2003 г. – на 1%. В 2004 г. сравнительно с 2000 г. этот показатель возрос на 6,3%. Эта тенденция объясняется экономическим ростом, некоторым увеличением экспорта электроэнергии, уменьшением объемов неплатежей за использованную электроэнергию.

Производство электрической энергии в Украине осуществляется на электростанциях трех типов: тепловых (ТЭС), атомных (АЭС) и гидравлических (ГЭС), в том числе гидроаккумулирующих (ГАЭС), а также частично на ВЭС. Динамика мощностей электростанций и производства электроэнергии приведены в табл. 6.6.

Таблица 6.6

Установленная мощность электростанций и производство электроэнергии в Украине в 1995–2004гг. (состоянием на 31.12 соответствующего года)

Год	Установленная мощность, ГВт	ТЭС	АЭС	ГЭС и ГАЭС	Производство, млрд.кВт·ч
1995	53,9	36,6	12,82	4,7	194,0
1996	54,0	36,5	12,6	4,7	183,0
1997	53,9	36,4	12,8	4,7	178,0
1998	53,8	36,3	12,8	4,7	172,8
1999	53,9	36,4	12,8	4,7	172,1
2000	52,8	36,3	11,8	4,7	171,4
2001	52,8	36,3	11,8	4,7	173,0
2002	52,8	36,2	11,8	4,8	173,7
2003	52,7	36,0	11,8	4,8	180,4
2004	52,9	35,2	12,8	4,8	182,2
2005	52,5	34,9	12,8	4,7	186,1

На протяжении последних 10 лет (1995 – 2004 гг.) установленная мощность электростанций изменялась приблизительно на 2%, тогда как производство электроэнергии сократилось почти на 6,4%: от 194,0 млрд кВт·ч. в 1995 г. до 182,2 млрд кВт·ч. в 2004 г. При этом производство электроэнергии на АЭС за этот период возросло с 70,5 до 87,0 млрд кВт·ч. Основное падение ее производства произошло на ТЭС – на 30,1 млрд кВт·ч.: с 113,4 до 83,3. Это является следствием действия в основном двух факторов: общий экономический спад и, как результат, уменьшение спроса на электроэнергию; кризис платежей за потребленную электроэнергию, который привел к невозможности закупки в необходимых объемах топлива для ТЭС. Поэтому установленная мощность ТЭС сейчас используется далеко не полностью. За счет ТЭС есть возможность существенно увеличить объемы производства электроэнергии.

На конец 2004 г. свыше 95% энергоблоков отработали свой расчетный ресурс (100 тыс.ч), больше половины из них находятся в эксплуатации свыше 200 тыс. ч. Доля оборудования со сроком эксплуатации 30 и более лет составляет около 80%.

Заметную долю электрической и тепловой энергии вырабатывают теплоэлектроцентрали общего пользования, которые входят в состав систем централизованного теплообеспечения городов. Большинство ТЭЦ построено еще в 40–50-тые гг. XX в. Все они, за исключением Киевских ТЭЦ-5 и ТЭЦ-6 и Харьковской ТЭЦ-5, физически изношены и морально устаревшие.

Происходит дальнейшее интенсивное изнашивание основного оборудования ТЭС, обусловленное использованием низкокачественного (непроектного) топлива на многих блочных электростанциях и работой базовых ТЭС в сменных режимах из-за недостатка маневровых мощностей в ОЭС, а также значительным уменьшением средств и ресурсов на восстановление оборудования. В наиболее критическом состоянии находится оборудование ТЭС Донецко-Днепровского и Западного регионов из-за сжигания на них угля значительно низшего качества, чем это предусмотрено проектом.

**Гидроэнергетика** играет исключительно важную роль в функционировании украинской энергосистемы, поскольку ГЭС и ГАЭС являются фактически единственным источником ее пиковых мощностей.

Установленная мощность гидроэлектростанций Украины на конец 2004 года составляла 4,7 млн кВт. Основой гидроэнергетики Украины являются ГЭС-ГАЭС Днепровского каскада (ГАГК “Дніпро-

гідроенерго”) суммарной установленной мощностью около 3906,9 МВт, в том числе: Киевской ГЭС – 361,2 МВт; Каневской ГЭС – 444 МВт; Кременчугской ГЭС – 625 МВт; Днепродзержинской ГЭС – 352 МВт; Днепровской ГЭС – 1538,2 МВт; Каховской ГЭС – 351 МВт; Киевской ГАЭС – 235,5 МВт. Все ГЭС Днепровского каскада за продолжительное время эксплуатации претерпели серьезные изменения. Оборудование станций и сооружения гидроузлов имеют высокую степень физического износа и нуждаются в реконструкции.

В стадии формирования находится Днестровский каскад (ГАЭК “Днестрогидроенерго”). Днестровская ГЭС-1 мощностью 702 МВт была введена в действие в 1983 г. и является быстрореагирующим резервом мощности в ОЭС Украины. Завершается строительство Днестровской ГЭС-2.

Ведется строительство Днестровской ГАЭС с целью полного использования гидроэнергетического потенциала Днестровского гидроузла и увеличения доли высокоманевровых мощностей в ОЭС Украины, которые регулируют частоту и обеспечивают безопасную работу атомных электростанций.

Учитывая необходимость покрытия пиковых нагрузок, обеспечения безопасной работы АЭС в переходных режимах и создания аварийного резерва мощности в энергосистеме южного региона Украины важно соорудить и ввести в эксплуатацию первую очередь (2 гидроагрегата) Ташлыкской ГАЭС.

Украина, особенно ее правобережная часть и Карпаты, имеет существенные резервы гидроресурсов. Учитывая значительную экономическую эффективность средних и малых ГЭС, эти ресурсы в будущем должны быть использованы.

**Атомная энергетика** Украины базируется на работе четырех АЭС: Запорожская, Ровенская, Хмельницкая и Южно-Украинская. На этих атомных электростанциях на конец 2005 г. работало 14 энергоблоков общей установленной мощностью 12,818 млн кВт, которые вырабатывают ежегодно свыше 87-88 млрд кВт·ч.

Потребление электроэнергии в Украине в 2005г. по сравнению с 1995г. снизилось на 7,0% (на 13,4 млрд кВт·ч). В 2005 г. экспорт электроэнергии составлял 10,1 млрд кВт·ч, против 4,1 млрд кВт·ч в 1995 г.

Баланс производства и распределения электроэнергии в 1995–2005 гг. и ее технологические затраты при транспортировке представлены в табл. 6.7.



Баланс электроэнергии, млрд кВт·ч.

Производство	Год						
	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Всего	194,0	171,4	173,0	173,7	180,4	182,1	186,1
ТЭС	113,4	82,7	84,7	86,0	89,5	83,3	84,7
ГЭС–ГАЭС	10,1	11,4	12,1	9,7	9,4	11,8	12,5
АЭС	70,5	77,3	76,2	78,0	81,4	87,0	88,8
Сальдо со странами СНГ	+1,2	-1,5	-0,5	-0,3	-0,7	-1,1	-1,7
Экспорт	4,1	2,4	2,6	2,8	4,3	4,2	10,1
Потребление (брутто)	191,1	167,5	169,9	170,6	175,4	176,8	177,7

**Теплоэнергетика** является важной составляющей отрасли электроэнергетики топливно-энергетического комплекса Украины, базой тепловых электростанций страны как конденсационных (ТЭС), так и теплоэлектроцентралей (ТЭЦ). Предприятия теплоэнергетики обеспечивают нужды Украины в тепловой энергии и частично в электроэнергии.

Теплоснабжение Украины обеспечивают 237 ТЭЦ, около 3 тыс. котельных мощностью свыше 20 Гкал/ч, более 90 тыс. мелких котельных и 120 тыс. автономных индивидуальных теплогенераторов. В системах централизованного теплоснабжения производится около 200 млн Гкал тепла, из него 110,5 млн Гкал потребляет жилищный сектор и бюджетная сфера, 89,5 млн Гкал – промышленность и другие отрасли. На теплоснабжение расходуется свыше 40% котельно-печного топлива, которое используется в Украине.

В организациях, которые занимаются строительством, эксплуатацией, ремонтом, отладкой, контролем систем теплоснабжения и теплопотребления, работает свыше 800 тысяч человек.

Только по теплоснабжению предприятия каждый год предоставляют населению и бюджетным организациям услуг на сумму свыше 6 млрд грн. Объемы производства и распределение тепловой энергии характеризуются данными табл. 6.8.

Значительная часть производства электрической и тепловой энергии приходится на теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), которые входят в состав систем централизованного теплоснабжения.

Таблица 6.8

Баланс производства и распределения тепловой энергии по Украине ( пар, горячая вода) в 1995, 2000–2004-х, млн Гкал

Статьи баланса	Год						
	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005
<i>Ресурсы, всего</i>	274,5	183,4	177,3	175,0	192,2	185,8	186,9
Отпущено тепловой энергии, всего	274,5	183,4	177,3	175,0	192,2	185,8	186,9
В том числе:							
Электростанциями, всего	77,6	53,8	53,6	51,7	55,5	53,9	53,6
Из них:							
Атомными электростанциями	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
Котельными установками	183,7	118,2	110,7	109,3	120,9	116,5	117,6
Теплоутилизационными установками	11,0	9,4	10,7	11,4	12,4	12,3	12,4
Другими установками	0,6	0,3	0,6	0,9	1,7	1,4	1,6
<i>Распределение, всего</i>	274,5	183,4	177,3	175,0	192,2	185,8	186,9
В том числе:							
Промышленность	125,0	76,3	75,6	73,1	79,6	78,2	80,5
Сельское хозяйство	6,9	2,1	2,4	2,3	2,6	2,5	3,1
Строительство	4,2	1,2	1,0	0,8	0,9	0,8	0,9
Транспорт	4,8	3,1	3,0	3,4	3,6	3,3	3,6
Другие отрасли	-	5,0	4,9	5,1	4,0	5,4	3,3
Жилищно-коммунальное хозяйство, всего	128,2	90,0	84,2	83,5	94,2	88,0	87,8
В том числе:							
Население	83,3	63,6	59,3	60,1	67,4	63,2	62,3
Коммунально-бытовые потребители	44,9	26,4	24,9	23,4	26,8	24,8	25,5
Потери тепловой энергии в магистральных сетях	5,4	5,7	6,2	6,8	7,3	7,6	7,7

При этом производство электрической и тепловой энергии осуществляется технически усовершенствованным оборудованием

при высоких параметрах пара. На наиболее современной конденсационной ТЭС коэффициент полезного действия (КПД) достигает 41%, тогда как КПД ТЭЦ составляет 60–70%. Комбинированное производство тепловой и электрической энергии ТЭЦ дает возможность более экономично использовать топливо, чем их раздельное производство. Кроме 236 крупнейших функционирующих ТЭС, из которых 217 ТЭЦ, 4 АЭС, централизованным теплоснабжением обеспечивают около 3000 котельных единичной мощностью свыше 20 Гкал/ч и установок по использованию тепловых вторичных энергоресурсов.

На текущий период системами централизованного теплоснабжения в Украине производится около 190 млн Гкал в год. Это дает возможность более чем на 55% обеспечить национальную экономику и население централизованной теплоэнергией (в России производство централизованного тепла составляет 72%), а для обеспечения генерации такого объема энергии расходуется свыше 28 млн т у.т. Как свидетельствуют расчеты, чтобы выработать и подать потребителю 1 Гкал тепла, нужно израсходовать в среднем 166,6 г топлива в условном исчислении, что соответствует КПД теплогенерирующих источников 85,8%. По требованиям настоящего времени КПД централизованных источников должен составлять не менее 92 – 94%.

Суммарное производство теплоэнергии оценочно составляет 330 – 335 млн Гкал, т.е. децентрализованно (котельные единичной мощностью меньше чем 20 Гкал/ч, автономные котельные, домовые и квартирные теплогенераторы) производится 140–145 млн Гкал, а для этого расходуется еще 35–37 млн т у.т. При децентрализованном производстве 1 Гкал тепла расходуется 250–255 г условного топлива; КПД генераторов составляет в среднем 56 – 58%.

Для суммарного производства теплоэнергии расходуется 63–65 млн т у.т., или 42–45% от общего использования котельно-печного топлива.

Большинство мощных источников теплоэнергии находятся в подчинении Минэнерго Украины. Кроме этих источников, в городах и поселках работает большое количество промышленных, коммунальных ТЭЦ и котельных, которые обеспечивают электрической и тепловой энергией предприятия и прилегающие к ним жилые районы. Большинство ТЭЦ – это мелкие промышленные станции, построенные в 50–70-х годах прошлого столетия. Все они в основном, кроме Киевских ТЭЦ-5, ТЭЦ-6 и Харьковской ТЭЦ-5, физически и морально устаревшие. На многих теплоэлектроцентралях из-за физической изношенности уже демонтирована часть паровых турбин, вследствие

чего резко уменьшается экономия топлива, что заложено в принцип комбинированного производства. Некоторые бывшие ТЭЦ после демонтажирования турбин переведены в статус котельных, другие – выведены из эксплуатации. За последние 5 лет количество промышленных ТЭЦ уменьшилась на 28 единиц. Эффективность работы ТЭЦ за последние 10–15 лет снизилась из-за уменьшения подключенной тепловой нагрузки вследствие спада промышленного производства и из-за того, что значительное количество потребителей построило собственные автономные теплоисточники.

Основным видом топлива для ТЭЦ Украины является природный газ, доля которого составляет 76–80%. Используется также топочный мазут до 18–20% и уголь до 5–6%.

В последние годы технико-экономические показатели ТЭЦ значительно ухудшились. Удельные затраты топлива на отпуск электрической и тепловой энергии на некоторых из них достигают до 450–584 г у.т./кВт·ч и 202–230 г у.т./Гкал, что значительно повышает себестоимость их продукции. На лучших ТЭЦ затраты топлива соответственно составляют 165–243 г у.т./кВт·ч и 144 – 160 г у.т./Гкал. На многих ТЭЦ оборудование не отвечает современным экологическим требованиям и нормативам.

**Котельные.** Обеспечение потребителей Украины тепловой энергией в первую очередь зависит от котельных, на которые приходится 36% всего суммарного производства тепла и около 65% централизованного производства. На сегодня в Украине находится в эксплуатации около 100 тыс. котельных разного назначения, которые размещены по всей территории. Более мощные промышленные и отопительные районные котельные сосредоточены, как правило, в городах, менее мощные – в поселках и сельской местности.

Большинство из них являются мелкими производственными и отопительными котельными, которые входят в состав предприятий коммунальной теплоэнергетики, промышленных и других предприятий и организаций, с малоэффективными, морально и физически изношенными котлами, с низким КПД, устаревшей автоматикой и горелочными устройствами, что обуславливает значительные перерасходы топлива, загрязнение окружающей среды и снижение надежности и качества теплоснабжения. Удельные затраты топлива в них достигают 220–250 г у.т. на отпущенную теплоэнергию, а себестоимость превышает 100 грн за 1 Гкал, тогда как в лучших котельных они не превышают 148–153 г у.т./Гкал, а себестоимость – не более чем 45–50 грн за 1 Гкал.

Свыше 50% котельных имеют срок эксплуатации, который превышает 20 лет. Дальнейшая их эксплуатация нуждается в проведении реконструкции и технического переоснащения.

Основным топливом для котельных Украины на сегодня является природный газ, доля которого составляет до 80–85%, жидкое топливо – до 3–5, уголь – до 7–10 и другие виды топлива – до 5%.

**Тепловые сети.** Наиболее уязвимым звеном в системе централизованного теплоснабжения являются тепловые сети, общая протяженность которых в Украине составляет 38334,5 км в двухтрубном исчислении. Теплосети проложены преимущественно в непроходных железобетонных каналах разных конструкций с изоляцией из минеральной ваты, не защищены от проникновения грунтовых и других вод из сопутствующих коммуникаций. Это приводит к намоканию теплоизоляций, интенсивной коррозии металла труб и другим значительным повреждениям с появлением свищей и разрывов трубопроводов.

Такое состояние тепловых сетей обуславливает большие потери при транспортировке теплоэнергии. Потери только в трубопроводах магистральных теплосетей Минэнерго Украины за последние 5 лет возросли с 5,0 млн Гкал, или 10,9%, до 7,6 млн Гкал, или 14,4%. Такие объемы потерь теплоэнергии равноценны ежегодным на протяжении пяти лет потерям 1,0 млн т условного топлива. Суммарные потери с учетом распределительных теплосетей достигли 30%.

Для устранения потерь тепла необходима замена физически изношенных трубопроводов теплосетей предварительно изолированными. Практика строительных организаций Украины и России свидетельствует, что наиболее надежной и эффективной является прокладка трубопроводов с пенополиуретановой изоляцией. По данным специалистов, удельная повреждаемость трубопроводов с пенополиуретановой изоляцией, отнесенных на 1 км, за год составляет 0,0107, а других типов – 1,244, т.е. отличается на 2 порядка.

Оценка физического состояния теплосетей, по данным разных экспертов, свидетельствует, что свыше 15% тепловых сетей находятся в обветшалом и аварийном состоянии, а в коммунальной теплоэнергетике – почти одна треть теплосетей, около 40% теплопроводов уже выработали свой амортизационный ресурс. В целом около 35% общей протяженности коммунальных тепловых сетей нуждаются в капитальном ремонте или полной замене.

С каждым годом ухудшается качество жилищно-коммунальных услуг: нарушаются сроки начала и окончания отопительного сезона,

услуги по теплоснабжению предоставляются с отклонением от нормативных требований. В некоторых городах вообще нет централизованного снабжения горячей водой, а в отдельных регионах она подается лишь в зимний период. Возрастают удельные затраты энергетических ресурсов в производстве и предоставлении жилищно-коммунальных услуг, которые в 2–3 раза выше, чем в странах Европейского Союза.

Некачественное предоставление жилищно-коммунальных услуг, низкий уровень осведомленности населения, несогласование норм законодательства и отсутствие в нем определенных норм относительно регулирования взаимоотношений потребителей и производителей, исполнителей жилищно-коммунальных услуг (и услуг по теплоснабжению) предопределяют рост недовольства среди населения.

*К основным причинам такого состояния систем коммунального теплоснабжения относятся:* дефицит финансов, изношенность оборудования и тепловых сетей, недостаточно отработанное управление и отсутствие четкого законодательного размежевания полномочий и ответственности центральных органов исполнительной власти и местных органов власти и органов местного самоуправления в сфере управления и регулирования в коммунальной теплоэнергетике. До настоящего времени отсутствуют перспективные схемы развития систем теплоснабжения городов и других населенных пунктов.

**Нетрадиционные источники энергии.** Чрезмерная антропогенная нагрузка на окружающую среду и дефицит топливных ресурсов (из-за ограниченности средств для закупки топлива) в Украине обуславливает необходимость разработки и внедрения технологии использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии и топлива. Количество установок, которые используют возобновляемые источники теплоэнергии (ВДЭ), в Украине превышает одну тысячу, но состояние дел в этой области теплоснабжения нельзя назвать удовлетворительным. Используются некоторые геотермальные источники, установки солнечного теплоснабжения для обеспечения горячей водой, а также вентиляционные выбросы и другие, но доля ВДЭ в общем балансе тепла не превышает 0,02%.

**Вторичные горючие и тепловые энергетические ресурсы** производятся и используются, как правило, в промышленности. Наибольшая их доля сосредоточена в металлургической, химической,

нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности, целлюлозно-бумажной, промышленности строительных материалов и машиностроительной. Утилизация тепловых вторичных энергоресурсов (ВЭР) дает возможность значительно сократить потребность в тепловой энергии и топливе. За счет тепловых ВЭР в современном состоянии обеспечивается 12,3 млн Гкал в год (равнозначно экономии 2,1 млн т у.т.), что составляет 6,5% от общего отпуска теплоэнергии централизованными теплоисточниками. Протяженность тепловых сетей небольшая и соответственно потери при транспортировке тепла не превышают 3%. Оборудование систем утилизации нуждается в существенном восстановлении, реконструкции и модернизации.

Именно проблема обеспечения надежного и стабильного теплоснабжения потребителей и прежде всего населения в осенне-зимний период имеет ярко выраженное социальное направление, и при ее решении необходимо рассматривать взаимодействие секторов теплоснабжения и жилищно-коммунального хозяйства. Поэтому их решение и реформирование жилищно-коммунального хозяйства, которое сейчас проводится, должны организационно и экономически быть связаны с реформированием и перспективным развитием теплоэнергетики и ее предприятий.

**В нефтегазовом комплексе** Украины наблюдаются положительные сдвиги. Так, в 2004 г., добыча нефти (включая газовый конденсат) снизилась по сравнению с 1995г. с 4,1млн т до 3,8 млн т (92,7%).

**В газовом секторе** ТЭК также наблюдается положительная динамика. В 2004 году добыча газа натурального возросла с 18,2 млрд м<sup>3</sup> в 1995 г. до 19,9 млрд м<sup>3</sup> в 2004 г., т.е. на 109,3 %. Объем добычи природного газа за отчетный период увеличился с 17,5 до 19,0 млрд м<sup>3</sup>, или на 8,7 %.

Закрепился рост производства в **нефтеперерабатывающей промышленности**. В 2004 году первичная переработка нефти составляла 21,4 млн т, против 17,0 млн т в 1995 году, или выросла на 25,9%. Стабилизация переработки нефти стала возможной благодаря лучшему обеспечению нефтеперерабатывающих заводов нефтью вследствие приватизации НПЗ, в основном российскими нефтяными компаниями. В результате в последние два года резко сократился импорт нефтепродуктов в Украину. Динамика добычи углеводородов, мощностей Украинских НПЗ с характеристикой технологической структуры переработки нефти представляется в табл. 6.9 и 6.10.

## Добыча углеводородов в 1995, 2000 – 2005 гг.

Виды углеводородов	Год						
	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Нефть (с конденсатом), тыс.т	4,1	3,7	3,7	3,7	3,9	3,8	4,4
В т.ч. нефть, тыс.т	3,0	2,6	2,6	2,6	2,8	2,9	3,1
Газ натуральный, млрд м <sup>3</sup>	18,2	17,8	18,4	18,5	19,0	19,9	20,8
Газ природный, млрд м <sup>3</sup>	17,5	17,2	17,5	17,8	18,3	19,0	19,9
Газ нефтяной, млн м <sup>3</sup>	703,0	700,0	695,1	760,5	744,8	846,9	900,0
Газовый конденсат, млн т	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,3

**Угольная промышленность.** После падения с 164,8 млн т в 1990 г. добычи угля больше чем в два раза (в 1996 году) с 1997 г. наблюдался постоянный ее прирост в 2001 г. до 83,4 млн т. По итогам работы отрасли в 2004 г. объем готовой угольной продукции возрос на 4,4 млн т, или на 7,2%, по сравнению с предыдущим годом. При этом общий объем готового каменного угля возрос на 7,4%, а угля для коксования снизился на 1,2% по сравнению с 2003 г. Прирост выпуска концентрата из готового угля в этот период составил 20,4%.

Основные показатели работы отрасли за отчетный период приведены в табл. 6.11.

Приведенные статистические данные дают основания отметить, что сохраняется недооценка развития собственной топливной базы на основе наращивания добычи угля, чем усложняется обеспечение экономики, жилищно-коммунальной сферы и населения топливом. В Программе “Украинский уголь” на 2004 г. намечалось довести добычу товарного угля до 70,4 млн т, однако это задание не выполняется. Продолжение этой тенденции ставит под угрозу реализацию намеченных Программой “Украинский уголь” задач.

Определенный пессимизм приводит к сокращению финансовой поддержки угольной промышленности в государственном бюджете на 2005 г. и задержке с завершением перестройки управления угольной промышленностью и расширения рыночных механизмов хозяйствования с оптимальным объединением с государственным регулированием.



Таблица 6.10

## Мощности Украинских НПЗ в 2005 г., тыс.т

НПЗ	Перегонка сырой нефти	Каталитический крекинг	Термический крекинг	Гидрокрекинг	Коксование	Каталитический риформинг	Гидроочистка	Производство битумов	Производство масел	Изomerизация
Украина, всего	51100	3680	300	0	930	5150	7670	1334	362,5	240
В том числе:										
Кременчугский	18600,0	1480				2220	4110	343	362,5	
Херсонский	7100,0				630	680		350		
Одесский	3600,0					420	1500	191		120
Лисичанский	16000,0	2200				1230	2060	375		120
Дрогобычский	3200,0		300			300		75		
Надворнянский	2600,0				300	300				
Использование производственной мощности по процессам, в % от переработки сырой нефти										
Украина, всего	100,0	7,2	0,6	0	1,8	10,1	15,0	2,6	0,7	0,5
В том числе:										
Кременчугский	100,0	8,0				11,9	22,1	1,8	1,9	
Херсонский	100,0				8,9	9,6		4,9		
Одесский	100,0					11,7	41,7	5,3		3,3
Лисичанский	100,0	13,8				7,7	12,9	2,3		0,8
Дрогобычский	100,0		9,4			9,4		2,3		
Надворнянский	100,0				11,5	11,5				

Таблица 6.11

**Основные показатели работы угольной промышленности  
в 2000 – 2004 гг., тыс.т**

Показатели	Год				
	2000	2001	2002	2003	2004
Добыча готового угля	62403	61684	59483	59893	59580
Готовый рядовой уголь	30340	25358	23844	25770	23514
Продукты обогащения	32063	36326	35591	34124	36067
Готовый каменный уголь	61601	60878	58721	59403	59120
Готовый бурый уголь	802	806	762	490	460
Готовый уголь для коксования	27844	28457	27523	26387	26231
Переработка рядового угля на обогатительных фабриках	61356	71146	73426	77320	80824
Из готового угля выпуск концентрата	26849	30746	30773	29370	30643
Брикеты и полубрикеты торфяные	200,1	150,2	226,7	261,8	242,3

### **6.3. Основные проблемы в энергообеспечении страны**

Приведем основные положения стабильного энергообеспечения экономики и социальной сферы с соблюдением энергетической и экологической безопасности.

1. Своевременное и бесперебойное обеспечение населения, национальной экономики топливно-энергетическими ресурсами удовлетворительного качества при экономически оправданных затратах.

2. Проведение государственной политики, направленной на повышение эффективности использования энергетических ресурсов в целях снижения энергоемкости ВВП.

3. Активизация энергосбережения, содействие инвестированию энергетики и осуществление других мероприятий, связанных со снижением материалоемкости производства.

4. Сдерживание роста экологической нагрузки энергетики на окружающую среду.

5. Обеспечение экономически целесообразного и технически возможного роста удельного веса собственных энергетических ресурсов, включая использование нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, а также местных источников топлива и энергии, в формировании топливно-энергетического баланса страны для уменьшения зависимости отечественных потребителей от импорта энергоносителей.

6. Усовершенствование и расширение нормативно-правового обеспечения деятельности предприятий ТЭК.

Кроме природных факторов, состояния производственного потенциала энергетического хозяйства, а значит, и эффективности осуществления государственной политики энергосбережения, на стабильность энергоснабжения и обеспечение устойчивого социально-экономического развития Украины влияют глобальные региональные и мировые процессы. В числе этих факторов особое место занимают международный терроризм, дестабилизация политической жизни в странах, являющихся поставщиками и транзитерами энергетических ресурсов. В настоящее время проблема энергетической безопасности мировым сообществом воспринимается не только в пределах отдельной страны, но и в глобальном масштабе.

Учитывая высокую зависимость Украины, как и Европейского континента в целом, от ограниченных источников поставки энергии при важной роли отечественного транзитного потенциала энергоносителей, основные задачи по устранению угроз стабильному обеспечению европейских стран и Украины следует рассматривать в едином комплексе.

В этих обстоятельствах к основным принципам национальной энергетической безопасности следует отнести также учет результатов влияния динамики и надежности функционирования национального энергетического хозяйства Украины как одного из самых крупных транзитеров энергетических ресурсов на состояние энергетической безопасности стран Центральной и Западной Европы.

Безопасность энергоснабжения Украины, как и любой страны, в решающей мере определяется возможностями удовлетворить внутренние нужды за счет собственного производства энергоносителей. Основными отечественными поставщиками энергии в Украине являются (и в перспективе будут оставаться) атомная энергетика и угольная промышленность, на которые приходится поставка почти 40% энергетических ресурсов, потребляемых в стране.

Действующие мощности АЭС до 2010 года будут обеспечивать

стабильную выработку около половины электрической энергии. После, в 2010 г. (по мере выработки ресурса), следует провести реабилитацию энергетических блоков с продлением срока их эксплуатации.

Среди ключевых проблем развития ТЭК нужно назвать следующие.

*Несовершенная структура топливно-энергетического баланса страны.* В Украине завышены объемы потребления природного газа на топливные нужды, спрос на который на 80% удовлетворяется за счет его импортирования. В формировании топливно-энергетических ресурсов малую долю составляют возобновляемые энергоносители.

*Неудовлетворительный уровень резервирования энергетических ресурсов для достижения стабильного энергообеспечения страны при условиях нестабильности цен на энергоносители на мировом и региональных энергетических рынках.*

*Критически высокая зависимость энергообеспечения страны от снабжения энергоносителей из одной страны.* Более 60% углеводных поставляется из России, что является одним из факторов угрозы энергетической безопасности государства.

*Высокий уровень изношенности основных производственных фондов.* В целом в отраслях ТЭК износ машин и оборудования составляет около 60%. Наибольшая степень износа оборудования наблюдается на тепловых электростанциях – до 90,6% мощностей, 85% блоков отработало свой расчетный ресурс – 100 тыс. часов, а 63,9% мощностей превысили признанные в мировой практике границы предельного ресурса и физического износа.

В городах, поселках и сельской местности эксплуатируется большое количество ТЭЦ и котельных, которые входят в состав промышленных и коммунальных предприятий. Свыше 65% тепловых мощностей ТЭЦ составляет физически изношенное оборудование, а основная часть мелких малоэффективных котельных и тепловых сетей построены еще в 60-е годы. Свыше 15% тепловых сетей находятся в обветшалом и аварийном состоянии. Общие потери тепла в тепловых (включая распределительные) сетях составляют около 20% теплоэнергии. Неудовлетворительное финансовое состояние теплоэнергетики обусловлено задолженностью населения, бюджетной сферы и других потребителей.

*Высокая энергоемкость экономики при низкой результативности энергосберегающей политики.* Энергоемкость ВВП (по покупной способности) в Украине в 2-3 раза превышает аналогичный показатель

развитых стран. Причем ухудшение использования энергетических ресурсов на 40%, по сравнению с его уровнем в 1990 году, вызвано кризисными трансформациями в экономике в 1991–1997 гг. Начиная с 1998 года наблюдается умеренное снижение энергоемкости экономики и основных ее секторов.

С 1991 года энергетика испытывает постоянный дефицит инвестиций для восстановления и наращивания производственного потенциала. За последнее десятилетие объем инвестиций в ТЭК резко сократился. Только в электроэнергетике в 1990 г. он составлял 795,202 млн руб., а в последние годы в 6 раз меньше.

Наблюдается ухудшение сбалансированности Объединенной энергетической системы Украины, особенно после пуска второго энергоблока на Хмельницкой АЭС и четвертого энергоблока на Ровенской АЭС.

Почти прекратилось новое строительство. За последние 14 лет был введен лишь один блок ЗАЭС, и в 2004 году (для компенсации мощностей закрытой в 2002 г. ЧАЭС) собственными силами построены блоки на РАЭС и ХАЭС.

Коэффициент использования производственных мощностей из-за нарушения процессов воспроизводства основного капитала и влияния других факторов снизился на тепловых станциях больше чем в 1,5 раза по сравнению с 1990 г.

*К основным проблемам функционирования и развития теплоэнергетики и централизованного теплоснабжения относятся:*

- дальнейший рост доли физически изношенного и морально устаревшего оборудования ТЭС, ТЭЦ, котельных и тепловых сетей;
- низкий уровень внедрения освоенных и новых энергосберегающих технологий и оборудования и оснащения приборами учета тепловой энергии;
- отсутствие диспетчеризации, автоматизированного управления режимами работы теплосетей и методов предупредительной диагностики состояния металла трубопроводов;
- высокие потери тепловой и электрической энергии при транспортировке и снабжении энергии;
- недостаточные темпы перекаладывания теплосетей и низкий уровень их эксплуатации;
- недостаточное финансовое обеспечение научно-технических разработок относительно улучшения энергообеспечения и энергосбережения;
- недостаточное внимание государства к развитию рынка

теплоэнергии;

- неплатежеспособность потребителей, которые потребляют энергоносители, и предприятий теплоэнергетики, которые используют природный газ, что обуславливает накопление задолженности за потребленные топливно-энергетические ресурсы;

- разработка долгосрочных прогнозных балансов потребления тепловой энергии, исходя из нужд национальной экономики, учреждений и организаций и населения;

- недостатки инвестиционного климата в теплоэнергетике;

- рост топливно-энергетической составляющей в калькуляции себестоимости тепловой и электрической энергии и увеличение тарифов;

- рост загрязнения окружающей среды предприятиями теплоэнергетики;

- необоснованность и отсутствие эффективных механизмов регулирования тарифов по теплоснабжению и их прозрачности при формировании;

- усиление социального напряжения вследствие повышения тарифов на жилищно-коммунальные услуги, в том числе на тепловую и электрическую энергию;

- объединение органами местного самоуправления функций владения и управления предприятиями коммунальной теплоэнергетики с функцией установления тарифов на услуги по теплоснабжению. Как следствие, тарифная политика в значительной мере зависит от популистских стремлений местной власти и не опирается на экономическую целесообразность. Кроме того, владение и управление коммунальными предприятиями местной общиной делает невозможным обращение руководителей коммунальных предприятий, которые назначаются органом местного самоуправления, к судебным органам с ходатайством о возмещении ущерба вследствие заниженных тарифов, что предусмотрено действующим законодательством Украины;

- низкая профессиональная подготовка местных органов власти и органов местного самоуправления к деятельности, связанной с формированием тарифов на услуги по теплоснабжению;

- недостаточно прозрачная система установления тарифов на электро- и теплоэнергию.

Нерешенными остаются вопросы финансирования содержания, обновления, развития и модернизации действующих тепловых мощностей предприятий сектора теплоэнергетики. Количество и

объемы полностью амортизированных основных фондов и оборудования теплоэнергетики в 1,5–2 раза больше, чем в других отраслях.

Подавляющее большинство мощных источников тепловой энергии Украины находятся в системе управления Минэнерго – это ТЭЦ общего пользования и районные котельные. Кроме этих источников тепла, в городах работает много промышленных и коммунальных ТЭЦ и котельных, которые входят в состав промышленных и коммунальных предприятий и поставляют тепловую и электрическую энергию прежде всего предприятию-владельцу ТЭЦ (котельные) и в прилегающие к нему жилые районы, где, как правило, проживают работники этих предприятий.

Наряду с развитыми мощными источниками тепла на базе тепловых электростанций, районных и промышленных котельных теплоснабжение населения и других потребителей в городах и сельской местности осуществляется свыше 11,5 тыс. мелких котельных, которые входят в состав предприятий коммунальной собственности. Они малоэффективны, оснащены морально и физически изношенными котлами с низким коэффициентом полезного действия (70–80%), устаревшей автоматикой и топками, что обуславливает значительные затраты топлива, высокое загрязнение окружающей среды и в целом приводит к снижению надежности и качества теплоснабжения.

*Трудности относительно стабильного наращивания добычи углеводных* связаны с отставанием разведывательного бурения, что влияет на темпы добычи нефти и газа природного, и ограничением инвестиций в новейшие технологии и НИОКР.

К негативным факторам следует отнести и то, что основная масса перерабатываемой в Украине нефти является давальческим сырьем, а это существенным образом ухудшает производственные показатели заводов. Кроме того, имеем недостаточную диверсификацию источников снабжения нефти. Из-за технологического и технического несовершенства нефтепереработки структура нефтепродуктов остается несовершенной. В будущем надлежит обеспечить производство наиболее ценных нефтепродуктов, таких, как высокооктановые марки автомобильного бензина и др.

*Незавершенность адаптации энергетики к рыночным условиям хозяйствования.* В текущий период приостановлена приватизация энергоснабжающих компаний. В угольной промышленности осуществляются лишь первые шаги по приватизации путем создания государственных холдинговых компаний, акции которых следует

реализовывать на конкурсной основе. На очереди упорядочение деятельности энергорынка, в том числе и на основе доработки нормативно-правового обеспечения функционирования рынка природного газа.

*Низкий уровень использования экспортного и транзитного потенциала страны для повышения ее энергетической безопасности и уровня энергообеспечения социально-экономического развития.*

*Недостаточно полное и несовершенное нормативно-правовое обеспечение деятельности предприятий ТЭК.* В действующих положениях о деятельности предприятий угольной промышленности не урегулированы условия деятельности частных предприятий в отношении порядка разработки месторождений, завершения эксплуатации и экологически безопасного закрытия горных предприятий. В условиях последующей интеграции в ЕС и присоединения к международным договорам и соглашениям надлежит адаптировать отечественные стандарты и технические условия деятельности предприятий ТЭК к международным стандартам и положениям.

*Критически высокий уровень экологической нагрузки в результате деятельности предприятий ТЭК.* Внос тепловой энергетики Украины в загрязнение атмосферы составляет около 40% от общего объема вредных выбросов в воздух. Угольные предприятия занимают масштабные территории под отвалы породы и шламов, которые интенсивно выветриваются и загрязняют прилегающие территории. Отсутствуют комплексные проекты по реконструкции шахт. Закрытие шахт сопровождается подтоплением и загазованностью больших территорий.

Не менее опасная ситуация сложилась непосредственно в отраслях топливно-энергетического комплекса. В числе основных проблем развития предприятий отраслей ТЭК есть: недостаточное количество маневровых мощностей для обеспечения оптимизации функционирования Объединенной энергетической системы Украины; отставание в наращивании разведанных запасов в нефтегазовом комплексе; несбалансированность проведения реструктуризации угольной промышленности. В угольной промышленности с 1990 г. производственные мощности сократились более чем на 80 млн т, новые мощности введены лишь на 3,2 млн т. Не заложено строительство ни одной шахты. Не завершено строительство пусковых комплексов, в сооружение которых вложено 75 и больше процентов капитальных вложений.

К основным проблемам энергообеспечения регионов кроме



перечисленных, относятся специфические факторы и тенденции.

Высокая концентрация в восточных регионах энергоемкого производства, развитие которого требует не только наращивания добычи энергетических материалов, но и увеличения их межрегиональных потоков, приводит к повышению риска в сфере обеспечения стабильности и безопасности энергообеспечения экономики и социальной сферы, создается высокая экологическая нагрузка. Так, в Донецкой области добывается 33,2% энергетических материалов, производится 10,0% химической и нефтехимической промышленности, 37,0% металлургии и обработки металла и около 16% производства и распределения электроэнергии, газа и воды.

Высокая изношенность оборудования электростанций и электросетей и наличие “узких” мест в развитии системообразующей сети ЛЭП 330–750 кВ, концентрация энергоемкого производства и масштабное использование экологически опасного топлива приводит к чрезвычайной экологической нагрузке в регионе. Действующий потенциал по добыче и переработке первичных энергоносителей базируется на устаревших технологиях и характеризуется высоким уровнем изношенности оборудования.

Перенасыщенность этих областей промышленными предприятиями, которые создают высокий уровень загрязнения окружающей среды, ограничивает возможность строительства электростанций на органическом топливе.

Основной целью развития энергетики является стабильное обеспечение в перспективе энергетическими ресурсами экономики и социальной сферы на основе:

- повышения использования и реконструкции действующих мощностей по добыче энергетических материалов, их переработки;
- модернизации, наращивания и оптимального использования генерирующих мощностей;
- развития энергетической инфраструктуры;
- более полного использования транзитного потенциала страны на базе увеличения объемов и качества услуг по транспортировке энергоносителей;
- осуществления взвешенной экспортной и импортной энергетической политики;
- усовершенствования интегрального топливно-энергетического баланса;
- повышения энергетической и экологической безопасности;
- проведения эффективной энергосберегающей политики.

**Приоритетами развития энергетики** в целях более полного удовлетворения спроса страны и регионов в топливе, электроэнергии и теплотенергии при повышении энергетической безопасности и сдерживании роста экологической нагрузки являются:

- стимулирование проведения модернизации тепловых электростанций;
- снижение удельных затрат топлива и уменьшение выбросов вредных веществ в окружающую среду;
- повышение уровня использования установленных мощностей ТЭС и имеющейся инфраструктуры энергоснабжения для беспрепятственного обеспечения наращивания производства высоколиквидной продукции;
- продление срока работы энергетических блоков АЭС;
- комплексная реконструкция и оздоровление угольных предприятий;
- наращивание темпов разведочного бурения для увеличения добычи нефти и природного газа;
- более широкое использование возобновляемых (нетрадиционных) видов и источников энергии, а также более полное использование местных энергетических ресурсов;
- внедрение современного менеджмента в энергоснабжении и проведение эффективной энергосберегающей политики.

Повысить сбалансированность Объединенной энергетической системы можно приоритетным введением в эксплуатацию высокоманевренных мощностей ГАЭС, ПГУ, ГТУ, а также реконструкцией части действующего оборудования тепловых электростанций с переориентацией их на пиковую и полупиковую нагрузку [63].

Ускорение работы по внедрению режимов суточного регулирования мощности на ВВЭР–1000 энергоблоков АЭС, что позволяет использовать их при регулировании суточного графика потребления мощности.

Для устранения существующего ограничения пропускной способности магистральных линий электропередачи путем построения новых линий необходимо:

- улучшение технического состояния оборудования энергогенерирующих и энергоснабжающих компаний;
- повышение качества электроэнергии с целью роста ее конкурентоспособности на европейском рынке;
- расширение топливно-энергетической базы электроэнергетики страны путем привлечения новых видов топлива и энергии;

- внедрение новейших современных технологий в отрасли;
- усовершенствование нормативно-правового обеспечения деятельности отрасли в системе рыночных отношений;
- усовершенствование функционирования оптового и розничного рынка электроэнергии;
- сокращение доли монопольного производства и передачи электроэнергии и расширение свободной конкуренции;
- усовершенствование действующей системы тарифообразования на электро- и теплоэнергию;
- финансовое обеспечение простого и расширенного воспроизведения в отрасли;
- обоснование и утверждение (подтверждение) площадок для строительства новых электростанций;
- сохранение и улучшение системы энергетической статистики в стране и т.п.

Основные направления улучшения функционирования и развития ядерного энергетического комплекса (ЯЭК) [64]:

- улучшение нормативно-правового обеспечения ЯЭК;
- продление срока эксплуатации действующих АЭС;
- развитие отечественных элементов ядерно-топливного цикла с постепенным переходом на полный отечественный ядерно-топливный цикл;
- решение проблем обращения с отработанным ядерным топливом и радиоактивными отходами;
- вывод из эксплуатации АЭС Украины;
- выбор новых типов реакторов для внедрения в стране;
- решение проблем научно-инженерной, проектно-конструкторской, промышленной и технологической поддержки функционирования и развития ЯЭК;
- решение социальных и кадровых вопросов развития АЭС.

**Основные факторы стабилизации энергообеспечения.** По уровню зависимости обеспечения экономики и населения энергетическими ресурсами Украина в сравнении с другими странами не относится к высокозависимым от импортирования. В последние годы около 47% энергоресурсов страны формируется за счет их импорта.

Украина имеет практически все виды природных энергетических ресурсов.

Запасы углеводородов позволяют покрывать 10–20% от общей потребности в нефтепродуктах и природном газе соответственно.

В **нефтедобывающей отрасли** в эксплуатации находятся

истощенные наиболее продуктивные нефтяные месторождения и вводятся в эксплуатацию мелкие. Из-за нехватки инвестиционных ресурсов сдерживается глубокое поисково-разведочное бурение, недостаточно финансируются научно-исследовательские работы по повышению нефтеотдачи пластов, сдерживается внедрение новейших технологий. Это отрицательно отражается на структуре и объемах разведанных запасов нефти. Государственным балансом запасов учтены 149 комплексных месторождений. Балансовые подготовленные к добыче запасы нефти этих месторождений составляют на начало в 2004 г. свыше 117 млн т категории  $A+B+C_1$  и около 36 млн т категории  $C_2$ , а внебалансовые – 69 млн т. Остаток запасов категории  $A+B+C_1$  превышает 78 млн т, или 67% разведанных запасов. Разведанные запасы характеризуются высокой степенью отработки (около 72%). Перспективные ресурсы разведанных запасов нефти категории  $C_3$  составляют 149 млн т. Прогнозные ресурсы оцениваются на уровне 725 млн т. Обеспеченность добычи нефти запасами составляет около 42 лет.

Почти треть прогнозных углеводных ресурсов сосредоточена в украинском секторе Черного и Азовского морей. Морские акватории освоены лишь на 5%. Поэтому Азово-Черноморский регион может стать приоритетным с точки зрения сырьевой базы добычи нефти и газа. Вместе с тем наращивание нефтедобычи (как и газодобычи) на шельфе и суше связывается с увеличением объемов и эффективности геологоразведочных работ, привлечением дополнительных инвестиций для разведки и разработки месторождений.

**Положение в газодобыче** примерно такое же, как и в нефтедобыче: несовершенство структуры запасов, значительная их отработка, отсутствие крупных месторождений, недостаточное внедрение новых технологий. Степень отработки разведанных запасов составляет 63%. Перспективные запасы категории  $C_3$  оцениваются на уровне 920 млрд  $m^3$ , прогнозные ресурсы категории  $D_1+D_2$  – свыше 2 трлн  $m^3$ . Обеспеченность добычи запасами составляет 55 лет.

Приведенные данные относительно запасов газа, низкая себестоимость его добычи в Украине в сравнении с мировыми ценами на газ и другие факторы дают основания рассматривать сырьевую базу газовой промышленности как достаточную для наращивания газодобычи до 22 млрд  $m^3$  в 2010 г. и 30 млрд  $m^3$  в 2020 г.

Трудности относительно стабильного наращивания добычи углеводных связаны с отставанием разведывательного бурения относительно темпов добычи нефти и газа природного и ограничением

инвестиций в новейшие технологии и НИОКР.

Таким образом, в Украине имеются реальные возможности не только для поддержки достигнутого уровня нефте- и газодобычи, но и некоторого их наращивания.

*Переработка нефти и газового конденсата и производство нефтепродуктов* осуществляется на шести нефтеперерабатывающих заводах. Использование действующих мощностей нефтеперерабатывающей промышленности страны в 2003–2004 гг. составляло 40,7%.

**Геологические запасы угля** в Украине на 01.01.2004 г. составляли 117,4 млрд т, в том числе балансовые – 56,7 млрд т – это почти 4% мировых запасов всех типов угля, а в Европе Украина занимает третье место после Германии и Великобритании (без учета запасов России).

Почти все запасы угля в Украине сосредоточены в Донецком бассейне – 86,3% (Донецкая, Луганская, Днепропетровская области). Доля запасов Львовско-Волинского бассейна (Волинская и Львовская области) составляет 2,6% и Днепровского бассейна – 3,6% (Житомирская, Кировоградская области). В Донецком и Львовско-Волинском бассейнах разрабатываются месторождения каменного угля, в Днепровском – бурого. Коксующийся уголь сейчас добывается только в Донецком бассейне, запасы его здесь составляют 24,8 млрд т, или 93,2% от общих по Украине. Наибольшие запасы расположены в Донецкой (32,7%) и в Луганской (33,7%) областях, причем большая часть коксующегося угля сосредоточена в Донецкой области (52,5% от общих запасов коксующегося угля в Украине).

Кроме того, часть перспективных запасов категории  $C_2$  в общих балансовых запасах уменьшается, что уже сейчас требует увеличения объемов поисковых и геологоразведочных работ с целью наращивания перспективных запасов угля.

Ресурсная база угля, которая сложилась на сегодня, позволяет довести добычу угля до 150 млн т в год. Реальными для развития угольной промышленности уже сейчас являются запасы на резервных участках для строительства новых угледобывающих предприятий – 67 участков с запасами объемом 9487,2 млн т и общей мощностью 121,3 млн т в год, и на участках для реконструкции и продления сроков службы действующих предприятий без прироста мощностей – 66 участков с запасами объемом 2688,5 млн т.

В системе твердых горючих ископаемых определенное положение занимают горючие и менилитовые сланцы. В пределах Украины выявлены 11 проявлений горючих сланцев. Наиболее крупным

месторождением является Болтишское, которое расположено на границе Кировоградской и Черкасской областей. В продуктивной сланценоносной „сфере” месторождения (до 400 м) выделяется 5 горизонтов, из которых 2-й и 4-й имеют промышленное значение. Общие запасы горючих сланцев рабочих пластов Болтишского месторождения составляют 3,79 млрд т. Кроме рабочих пластов, теплота сгорания которых 2000 Ккал/кг (8,37 Мдж/кг) и выход смолы 12–15%, повышенное содержание (свыше 6%) смолы наблюдается также в пластах сланцев, которые отнесены (по теплоте сгорания) к категории забалансовых. Из ресурсов этих сланцев, по оценкам специалистов, может быть получено 3,6 млрд т смолы – исходного сырья для производства синтетического моторного топлива. Эксперименты с пробами сланца показали, что выход синтетической нефти увеличивается под влиянием катализаторов до 20%.

Рассматривалась возможность использования сланцев и как топлива в энергетических установках. Изучалась также возможность использования минеральной составляющей переработки сланцев в строительстве.

Менилитовые сланцы имеют большое распространение, однако они не могут использоваться для энергетических нужд из-за низкого содержания органических составляющих и высокой их зольности (84%).

Важным резервом повышения эффективности использования угля является обеспечение его комплексной переработки, в том числе на основе переработки в синтетическое моторное топливо, и получение других органических веществ. Сырьевая база для создания соответствующего производства достаточна (уголь марок Д, ДГ, Г и бурый).

На территории Украины по состоянию на 01.01.2004г. выявлено 2501 месторождение торфа с общими геологическими запасами 2,17 млрд т. В эксплуатации находится 503 месторождения. В последние годы в Украине добывалось 764 тыс.т торфа, в том числе на топливные нужды 573 тыс.т.

Из сопутствующих горючих ископаемых наибольшего внимания заслуживает метан угольных месторождений. Природная метаносность угольных пластов изменяется в широком диапазоне – от 5 до 30 м<sup>3</sup>/т. Ежегодно угольные шахты выбрасывают в атмосферу большой объем метана. По состоянию на 01.01.2004 г. на угольных месторождениях Украины Государственным балансом полезных ископаемых определено 287,9 млрд м<sup>3</sup> метана. Метан угольных месторождений может быть важным резервом углеводных ресурсов

страны. Наиболее вероятно, что его запасы в Украине превосходят 2,5–5,0 трлн м<sup>3</sup>. По данным американских исследователей, общие ресурсы метана в Донбассе достигают 25 трлн м<sup>3</sup>.

В целом Украина имеет мощную сырьевую базу твердых горючих ископаемых, часть из которых еще не используется по экономическим или технологическим факторам.

Украина имеет большие залежи урановой руды, прогнозируемые запасы которой составляют 40 тыс.т. Разведанных запасов ее для обеспечения отечественных АЭС ядерным топливом хватит на 150 лет. Уран из месторождений Украины после обогащения содержит только 0,7% <sup>235</sup>U при потребности 4% для атомных реакторов отечественных АЭС. Добычей урановой руды и производством концентрата природного урана занимается единственное в стране предприятие – Восточный горно-обогатительный комбинат. В будущем потенциал уранодобывающей отрасли страны будет определяться мощностями по эксплуатации НовоCONSTANTINOVSKOGO уранового месторождения.

*Запасы урановых руд* Украины, представленные 34 разведанными месторождениями, способны обеспечить нужды ядерной энергетики по некоторым оценкам на сроки от нескольких десятков до 100 и более лет.

Относительно сырьевой базы циркониевых руд следует отметить, что Украина является практически монополистом по их добыче среди стран СНГ. Мы также имеем в своем распоряжении запасы фтористого сырья и графита.

Кроме того, для получения гексафторида урана как материала для изготовления таблеток твэлов необходимы следующие технологические процессы:

- получение уранового концентрата;
- получение тетрафторида урана;
- получение гексафторида урана;
- обогащение урана.

Украина имеет в своем распоряжении предприятие только для производства уранового концентрата. Другие производства в стране отсутствуют. При этом следует отметить, что самостоятельное обогащение урана ведется только в России и США, а другие страны идут по пути создания общих предприятий.

Циркониевое производство, которое имеет целью получение свежего ядерного топлива, включает следующие технологические этапы:

- получение циркониевого концентрата;

- деление циркония и гафния;
- получение металлического циркония, его сплавов и проката, а также изготовление конструктивных элементов твэлов.

Еще одним резервом получения ядерного топлива может быть извлечение “не выгоревшего” Урана-235 и плутония из отработанного ядерного топлива (ОЯТ). Для этого существует специальная технология переработки на радиохимических заводах, которые, к сожалению, в Украине также отсутствуют.

Из приведенного выше следует, что большинство процессов, связанных с производством ядерного топлива, в Украине отсутствуют.

Таким образом, очевидно, что в Украине есть определенные условия, но нет на сегодня реальных финансовых возможностей для создания собственного замкнутого ЯТЦ.

Что же касается решения проблемы надежного обеспечения украинских АЭС ядерным топливом, необходимо, в конце концов, определиться с основными направлениями энергетической политики в области дальнейшего развития ядерной энергетики. А именно, выбрать ту модель интеграции, которая отвечала бы национальным интересам страны. Одно из этих направлений, как это уже указывалось выше, – это продолжение использования существующей схемы поставок ядерного топлива на украинские АЭС.

По существующей на сегодня схеме производство ядерного топлива осуществляется на базе специализации и кооперации отдельных предприятий Украины, России и Казахстана.

Для повышения эффективности работы такой схемы необходимо, по всей видимости, сконцентрировать все имеющиеся производственные, финансовые, научные и административные ресурсы в органах государственного управления, которые будут нести полную ответственность за те производственные процессы в ядерной промышленности, которыми располагает Украина. При этом необходимо значительно поднять уровень производительности всех этих предприятий, особенно по природному урану и цирконию, в которых так заинтересована Россия.

Природный потенциал страны по нетрадиционным возобновляемым источникам энергии (НВИЭ) состоит из таких видов ресурсов: гидроресурсы, ветроэнергетика, солнечная, геотермальная энергия, биогаз, утилизация отходов.

Гидравлические электростанции (ГЭС) в отличие от тепловых и атомных работают на возобновляемых источниках энергии – стоке рек.



Валовые (потенциальные) ресурсы рек Украины по разным оценкам составляют около 45 млрд кВт [64], технически возможный потенциал ресурсов рек Украины – 22,8 млрд кВт·ч, в том числе крупных и средних рек – 21 млрд кВт·ч и малых рек – 1,8 млрд кВт·ч. Экономически целесообразный потенциал крупных и средних рек страны, который сейчас освоен на более чем 60%, составляет 17 млрд кВт·ч, из него практически полностью освоены ресурсы р.Днепр.

Каскад Днепровских ГЭС в средний по водности год вырабатывает 9,4 млрд кВт·ч. электроэнергии, мощность его достигает 3906,8 МВт. Они являются основным ресурсом для покрытия пиковой и резервной мощности Объединенной энергосистемы Украины.

В 1986 г. введен в действие Днестровский гидроузел на р. Днестр с гидроэлектростанцией мощностью 702 МВт, который ежегодно вырабатывает 800 млн кВт·ч электроэнергии.

Гидроэлектростанции Днепровского каскада работают в основном на попутном стоке р. Днепр, а также на излишке стока в период весеннего половодья и паводков, который не может быть задержан в водохранилищах из-за ограниченной их вместимости. Вследствие этого через турбины ГЭС каскада проходит 87–96% среднемноголетнего стока, а избыточный сброс составляет всего 4–13%.

Днестровские ГЭС также работают на излишках стока и попутном стоке реки, который необходимо пропускать потребителям воды. Через турбины ГЭС проходит 98% среднемноголетнего стока.

Теребля-Рикская ГЭС, используя 80% среднемноголетнего стока р.Теребля, перебрасывает ее сток в р. Река. В нижний бьеф сбрасываются только санитарные воды.

Однако действующие ГЭС не могут полностью обеспечить покрытие пиковой нагрузки энергосистемы Украины. В связи с этим возникла необходимость строительства новых высокоманевровых источников электроэнергии. Таким источником являются электростанции, которые аккумулируют энергию воды (ГАЭС). Кроме покрытия пиковой нагрузки энергосистемы, ГАЭС используют энергию во время ее провалов, содействуют экономии топлива на тепловых электростанциях. Опыт эксплуатации Киевской ГАЭС мощностью 225 МВт свидетельствует о ее высокой эффективности.

Кроме Днестровской ГАЭС (2160 МВт) и Ташлыкской ГАЭС (1800 МВт), которая строится, планировалось построить еще пять ГАЭС мощностью свыше 5000 МВт, но работы еще не завершены.

Сооружение ГЭС на крупных реках Украины, на наш взгляд, уже

себя исчерпало и в ближайшем будущем не будет актуальным. Поэтому целесообразнее сосредоточить внимание на малых гидроэлектростанциях.

По принятой классификации к малым формам гидроэнергетики относятся микро- (до 100 кВт), мини- (1000 кВт) и малые ГЭС (до 25 МВт). Развитие их в Украине осуществлялось в 30–40-е гг. XX в., а в конце 50-х их насчитывалось более одной тысячи. С развитием мощного гидростроительства, сооружений ТЭС и АЭС, централизацией энергоснабжения, а также в связи с низкими ценами на топливо и электроэнергию ведомства и предприятия потеряли интерес к МГЭС. Началась их консервация, демонтаж, сотни малых ГЭС были покинуты и разрушены.

Сегодня в Украине сохранились 49 МГЭС (93 МВт). В основном это объекты Минэнерго, большинство из которых требуют реконструкции, а часть заброшенных еще можно отстроить.

*Потенциальные ресурсы (суммарные) стока малых рек Украины* составляют около 2400 МВт. На малых реках имеется 27 тысяч прудов и водохранилищ местного водохозяйственного значения, на которых могут сооружаться микро- и миниГЭС мощностью 5–250 кВт.

*Потенциал ветроэнергетики Украины* определяется наличием большого технически доступного ресурса – энергии ветра. Размещение ветроэнергетических установок не связано с использованием задействованных в хозяйственном обращении площадей. Они могут размещаться на свободных участках, безлесной горной местности, мелководной акватории природных и искусственных морей, озер, заливов и лиманов. Только в заливе Азовского моря и Сиваша общей площадью акватории 2700 км<sup>2</sup> имеется потенциальная возможность разместить ветровые энергетические установки общей мощностью до 135 тыс. МВт. В Украине среднегодовые скорости ветра, превышающие 5 м/с, наблюдаются в приморских районах, южных степях, Донецком бассейне, а также в горных районах Крыма и Карпат. При этом в горных районах использование энергии ветра ограничено. Здесь воздушные потоки отличаются усиленной турбулентностью, резким изменением наличия и направлений ветра. В связи с этим в Карпатах для использования ветровой энергии считаются пригодными лишь 1,5–2,0% территории.

Общий потенциал ветровой электроэнергетики страны (с учетом участков для установки ветровых энергетических станций) приблизительно эквивалентен ее нынешнему производству в Украине.

Реализация его требует привлечения больших средств, создания соответствующей производственной инфраструктуры.

*Потенциал солнечной энергии* определяется объемами годового излучения. Среднегодовое солнечное излучение в Украине составляет 3500–5200 МДж/м<sup>2</sup>, т.е. отвечает уровню этого показателя в странах, где активно используются солнечные коллекторы (Германия, Швеция, США и др.).

Вся территория Украины пригодна для создания солнечного теплоснабжения. Сезонный период теплоснабжения может обеспечиваться с апреля по октябрь, а для южных районов – с марта по октябрь.

Энергия солнечной радиации, которая достигает поверхности земли за год, представляет в южных городах почти 5, а в других – от 3,85 (Львов) до 4,12 ГДж/м<sup>2</sup> (Киев).

В топливно-энергетическом балансе страны важное место может принадлежать *геотермальной энергии*. Ее источники размещаются по всей территории Украины. Основными районами возможного использования этой энергии являются: Закарпатье, Прикарпатье, Запорожская, Донецкая, Луганская, Полтавская, Харьковская, Херсонская, Черниговская и другие области, а также Автономная Республика Крым.

По оценкам экспертов, потенциальные ресурсы геотермальной энергии Украины могут обеспечить работу геотермальных электростанций общей мощностью до 250 млн кВт. При этом глубина бурения скважин будет составлять около 7 км, а срок работы таких электростанций – до 50 лет.

Ресурсы геотермальной теплоты дают возможность создать также системы геотермального теплоснабжения общей мощностью до 1,5 млрд кВт, что обеспечивается бурением буровых скважин глубиной до 4 км.

Наиболее перспективными районами страны для привлечения в хозяйственное обращение геотермальной энергии являются Закарпатье, Крым и Львовская область. В Закарпатье на глубинах до 6 км температура горных пород достигает 230–275 °С.

*Определенный энергетический потенциал имеют также биотехнологии и утилизация отходов*, это: переработка гноя и другой биомассы; сжигание отходов сельскохозяйственного производства; использование сельскохозяйственных культур для получения спиртового топлива путем ферментации; преобразование биомассы на газообразные и жидкие виды топлива на основе термохимических технологий.

Объемы отходов растительной биомассы в стране составляют около 40 млн т в год, что эквивалентно производству почти 25 млрд м<sup>3</sup> газа. Ежегодные отходы животноводства достигают 32 млн т, в лесоповалах (преимущественно западных регионов) накоплено около 14 млн м<sup>3</sup> отходов.

Кроме того, в стране может широко использоваться природная и техногенная теплота температурой 5–40 °С и выше и другие вторичные энергетические ресурсы. Так, в существующих системах снабжения холодом предприятий за счет комбинированного производства холода и тепла по теплонасосной системе дополнительные тепловые мощности могут составлять около 1000 Мвт.

Таким образом, Украина имеет мощный энергетический потенциал. Реальный уровень обеспечения собственными энергетическими ресурсами в будущем составит: 45%, углем – приблизительно на 81%, газом – 24, нефтью – на 25%. Более масштабное использование нетрадиционных источников энергии возможно лишь в перспективе 2010–2020 гг. К этому времени необходимо наиболее полно использовать большой потенциал энергосбережения, для реализации которого следует обеспечить создание благоприятных условий для привлечения в этот сектор инвестиций отечественных и зарубежных инвесторов, доработать нормативно-правовое обеспечение и экономические механизмы осуществления соответствующих проектов.

Наличие природных запасов энергетических ресурсов, большой транзитный потенциал страны по транспортировке энергоносителей к другим странам и другие факторы создают благоприятные условия для повышения уровня обеспечения социально-экономического развития. Вместе с тем они не гарантируют стабильного энергообеспечения экономики и социальной сферы в условиях многовариантности процессов, влияющих на энергообеспечение, и высокой зависимости энергетики, как и других секторов экономики, от ситуации на региональных и мировом рынках.

Для обоснования рациональных решений задач энергообеспечения страны в условиях вызовов, связанных с ускорением глобализации мирохозяйственных процессов и учета других факторов внутреннего и внешнего характера, следует иметь современные средства имитационного моделирования формирования энергетических ресурсов и их распределения, т.е. разработки топливно-энергетических балансов.

#### **6.4. Концепция имитационного моделирования и прогнозирования энергетики как большой системы**

Энергетика как сложная система, играющая решающую роль в энергообеспечении социально-экономического развития страны, находится в разноплановых связях с объектами, которые обслуживаются ею, зависит от внешних источников энергоснабжения, ситуации на мировых рынках и регулируется нормативно-правым полем, а также комплексом ограничений и требований к ее деятельности. Поэтому подготовка взвешенных решений относительно перспектив энергообеспечения должна осуществляться на основе современной методологии комплексного моделирования ситуации в энергетике, исходя из приоритетов социально-экономической динамики в перспективе.

Применение детерминированных моделей дает возможность находить решения в пределах очерченных исходных данных. С изменением отдельных ограничений и исходных параметров (как этого требует исследование альтернативных стратегий) получаемые результаты часто выходят за рамки приемлемых. Поэтому целесообразно отрабатывать реальные ситуации развития экономики и разные сценарии энергообеспечения с соблюдением конкретных требований относительно путей энергообеспечения, а также ограничений со стороны уровня экологической нагрузки, энергетической безопасности страны. С целью разработки взвешенной стратегии и обоснованных решений относительно перспективного обеспечения энергоносителями экономики и социальной сферы надлежит рассматривать разные сценарии как в части социально-экономического развития, так и в оценке ожидаемого спроса, а также путей энергоснабжения.

Имитационное моделирование предполагает комплексное рассмотрение вопросов формализации процессов по определению спроса (с учетом реализации заданий по энергосбережению), оценке собственного потенциала по обеспечению энергетическими ресурсами как за счет собственного потенциала, так и импортирования энергоносителей, а также учета допустимой экологической нагрузки энергетики, соблюдения других ограничений относительно энергообеспечения, и формирования перспективного энергетического баланса на основе предварительной разработки альтернативных сценариев всего процесса или отдельных его звеньев.

В Украине нет завершенных работ по имитационному моделированию процессов относительно обоснования решений по энергообес-

печению и в том числе по составлению энергетических балансов согласно ситуационному прогнозированию социально-экономического развития страны, различных альтернатив покрытия спроса на ТЭР.

Методологические положения обоснования перспективных энергетических балансов в зависимости от вариантов социально-экономического развития определяют систему, логику, последовательность и формирование базового ядра по обоснованию решений в энергообеспечении экономики и основных ее секторов. Рассмотренная методология отображает расширенную систему расчетов в зависимости от сценариев обоснования энергетических балансов.

Учитывая значительную неопределенность в перспективе динамики объемов и структуры производства, масштабов внедрения энергосберегающих технологий, оценки ожидаемой потребности в ТЭР предлагается осуществлять по альтернативным вариантам, учитывающим реальные ситуации обеспечения энергетическими ресурсами в перспективе, которая рассматривается. Определение потребности в энергетических ресурсах по их видам базируется на структуре потребителей, наиболее распространенных технологиях производства в прогнозном периоде, исходя из выработанных приоритетов по энергообеспечению страны, в том числе с учетом требований энергетической безопасности и ограничения экологической нагрузки энергетического сектора экономики.

Прогноз спроса (потребности) в топливно-энергетических ресурсах может осуществляться с помощью разных методов, среди которых основными являются:

- *нормативный* (на основе прогнозного объема производства энергоемкой продукции и работ и удельных затрат энергоресурсов на единицу продукции и учета “ненормированных” объемов потребления энергоресурсов);
- на основе *расчетов* динамики энергоемкости ВВП (объемов ВДВ, или продукции, работ и темпов роста ВВП (ВДВ), или выпуска продукции, работ), отталкиваясь от базового уровня энергоемкости с последующим учетом намеченных масштабов энергосбережения, и другими методами [66].

В главах 1–5 охарактеризованы современные разработки в математическом моделировании процессов анализа и прогнозирования показателей сложных систем и рассмотрены отдельные примеры их использования на практике. При этом преобладающее большинство экономических прогнозов составляется на базе гипотезы инерционности, т.е. на предположении, что в будущем будут действовать

те же самые закономерности, которые действовали и в прошлом, или продолжают свое развитие новые тенденции, которые начали заметно проявлять себя в настоящем. Однако статичные, инерционные и вероятностные модели не учитывают весьма разнообразные ситуации, которые следует исследовать при обосновании решений по сложным экономическим системам с разнообразными внутренними и внешними связями. Особенно сложно прогнозировать показатели экономических систем и их секторов в рыночных условиях хозяйствования.

В связи с высокой зависимостью развития энергетики от общей социально-экономической ситуации в стране, секторе экономики или регионе рассматривать эти задачи следует в комплексе. Отработанным модельным аппаратом комплексного прогнозирования экономики в рыночных условиях хозяйствования являются межотраслевые модели “затраты – выпуск”, разработанные в методологии национальных счетов. В этих моделях с достаточной детализацией отображаются перспективные параметры основных секторов экономики, полученные на основе сбалансированного моделирования экономического оборота всех составляющих ВВП. В моделях формирования ресурсов продукции (работ, услуг) по видам деятельности учитывается влияние факторов, которые определяют изменение промежуточного продукта, основного капитала, заработной платы и прибыли, а также других составляющих, ожидаемых в прогнозном периоде.

При распределении ожидаемых ТЭР учитываются такие направления их использования в перспективе: для производства продукции (услуг) по видам деятельности, конечное потребление домашними хозяйствами и в экономике, на накопление и экспорт. Распределение продукции (работ, услуг) определяется факторами, влияющими на динамику производства продукции (работ, услуг) и изменение спроса домашних хозяйств (через факторы, формирующие динамику доходов; валовое накопление капитала и изменение экспорта).

Изменение любого из этих факторов требует адекватной переоценки энергетического обеспечения социально-экономического развития в перспективе.

В выработке решений в энергетике важное значение имеет определение спроса на энергетические ресурсы. Определение потребности и возможности ее покрытия в перспективе за счет собственного производства требует учета массы разноплановых факторов и ограничений, и в первую очередь: масштабов и структуры производства, ожидаемой экономии ТЭР в реальных секторах и за счет реализации межотраслевых мероприятий; структурных сдвигов в экономике;

ожидаемых (намеченных) изменений и государственных приоритетов в топливно-энергетическом комплексе; внедрения новейших технологий, в которых предполагается значительное сокращение материальных и энергетических затрат; состояния и реальных возможностей наращивания собственного потенциала относительно увеличения добычи, переработки топливных ресурсов, производства электрической и тепловой энергии, привлечения вторичных и нетрадиционных видов и источников ТЭР в прогнозном периоде; соблюдения требований и ограничений по экологической нагрузке ТЭК в прогнозном периоде, а также учета других требований и рекомендаций, в том числе увеличения энергетической и экологической безопасности страны.

В этих условиях разработка моделей и создание компьютеризированных средств имитационного моделирования должна осуществляться на основе следующих основных принципов и приоритетов.

*Целью разработки основных положений методологии имитационного моделирования экономических процессов при обосновании перспективного развития энергетики является определение целостной системы моделей и алгоритмов по комплексному прогнозированию основных показателей энергообеспечения экономики, социальной сферы и населения в соответствии с темпами и пропорциями социально-экономического развития, с соблюдением основных требований и ограничений развития ТЭК, а также достижение намеченного уровня энергетической (а в результате этого и экономической) и экологической безопасности на основе исследования различных сценариев.*

Ключевой задачей методологии имитационного моделирования и прогнозирования развития энергетики является определение следующих основных принципов:

- создания ядра функционально объединенной системы моделей формирования параметров энергообеспечения страны при условиях рассматривания базовых сценариев ее перспективного развития в целом и альтернатив энергообеспечения;
- разработки моделей анализа состояния и оценки потребности, формирования объема и структуры топливно-энергетических ресурсов в соответствии с масштабами и задачами экономического и социального развития путем взаимодействия с системой моделей определения основных макроэкономических параметров социально-экономического развития страны, регионов и секторов;
- оценки реальных возможностей производственного потенциала



по добыче, переработке топлива и производству электро- и теплоэнергии в перспективе с учетом реального состояния их потенциала;

- формализации процессов оценки экологической нагрузки и расчетов индикаторов и критериев уровня энергетической безопасности;
- отработки технологии вариантных комплексных перерасчетов показателей экономического развития и энергетики в зависимости от сценариев и результатов промежуточных расчетов перспективного развития энергетики страны с поэтапным их согласованием по определенным критериям;
- разработки методических подходов по комплексному формированию перспективных топливно-энергетических балансов (сводного и по видам ТЭР).

Интегрирующим механизмом системы взаимодействующих моделей является сценарий комплексных расчетов, базовая часть которого регулирует направление прогнозно-аналитического процесса, обеспечение возможностей соблюдения предусмотренных условий, разветвления вычислительных процессов в зависимости от текущих результатов, т.е. соблюдение имитационного характера моделирования развития ТЭК и макроэкономической динамики.

Учитывая функциональную обособленность процессов, которые описываются моделями макроэкономического прогнозирования, определение потребности в ТЭР, оценка масштабов добычи топлива и производства электро- и теплоэнергии, а также процессов определения объемов привлечения других энергоресурсов, формирование показателей перспективных балансов топлива и энергии, определение влияния энергетики на окружающую среду, оценки индикаторов состояния энергетической безопасности для реализации всего этого комплекса прогнозно-аналитических расчетов следует применять декомпозиционный метод имитационного моделирования. Такой подход разрешает дифференцировать громоздкие прогнозно-аналитические расчеты как по времени, так и по месту их проведения и придерживаться требований относительно учета их взаимной зависимости и сбалансированности результатов.

Для учета профессионального опыта экспертов разрабатываемые средства должны обеспечивать интерактивный режим осуществления расчетов, который бы обеспечивал высокую гибкость работы пользователей.

Отправным этапом определения показателей развития топливно-энергетического комплекса на перспективу служит комплекс положений: проведение анализа состояния энергообеспечения, сложив-

шийся в стране в последние годы с соблюдением возможности международного сравнения и характеристики эффективности использования ТЭР в стране; определение основных факторов и тенденций в энергообеспечении экономики и социальной сфере; определенная пролонгация сложившейся ситуации в энергообеспечении на перспективу и подготовка рекомендаций по повышению результативности в обеспечении топливом, электро- и теплоэнергией социально-экономического развития.

К системе комплексного моделирования перспектив развития ТЭК согласно темпам и пропорциям социально-экономического развития надлежит разработать систему таких взаимодействующих моделей:

1) вариантного прогнозирования макроэкономических показателей развития экономики и социальной сферы на основе динамической модели “затраты – выпуск” (межотраслевого баланса по методологии национальных счетов);

2) интегральной оценки потенциала энергосбережения путем обобщения соответствующих мероприятий программ энергосбережения;

3) прогнозирования потребности в топливе, электро- и теплоэнергии адекватно темпам и пропорциям социально-экономического развития энергообеспечения экономики и социальной сферы и оптимизации структуры энергоносителей;

4) оценки (в том числе экспертной) ожидаемых масштабов производства ТЭР с учетом привлечения отечественных и иностранных инвестиций, использования вторичных и привлечения нетрадиционных и возобновляемых источников энергии и топлива;

5) определения экологической нагрузки ТЭК при условиях использования намеченных объемов ТЭР;

6) разработки сводного и по видам ТЭР топливно-энергетических балансов при условиях определенных параметров энергообеспечения социально-экономического развития страны и на перспективу;

7) оценки уровня энергетической безопасности страны;

8) определения потребностей ТЭК в финансовых и материальных ресурсах для реализации соответствующих темпов и пропорций социально-экономического развития;

9) отслеживания (мониторинг) достижения намеченных по Энергетической стратегии параметров развития энергетики как фактора устойчивого социально-экономического развития страны.

Основные положения определенной методологии изложены ниже.

# АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНОГО РАЗВИТИЯ ТЭК В СООТВЕТСТВИИ С СОЦИАЛЬНО- ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДИНАМИКОЙ

---

### **7.1. Логико-функциональная схема анализа и прогнозирования перспективного развития ТЭК как ключевого сектора экономики**

Согласно концептуальным положениям сценарии развития топливно-энергетического комплекса разрабатываются исходя из того, что его потенциал ПЕК должен обеспечивать намеченные темпы социально-экономического развития страны, придерживаться комплекса ключевых требований по ограничению экологической нагрузки от деятельности этого сектора экономики и учитывать другие условия. При этом следует предусматривать обеспечение энергетической и экономической безопасности и учитывать реальное финансовое и материальное обеспечение для адекватного наращивания производственного потенциала отраслей ТЭК.

Темпы и пропорции социально-экономического развития на перспективу и энергоемкость экономики в целом и отдельных ее секторов в базовом периоде создают (с учетом реализации потенциала энергосбережения в прогнозном периоде) реальную основу для оценки необходимого при этом энергообеспечения. Оцененная общая потребность в топливно-энергетических ресурсах служит ориентиром для определения потенциальных возможностей и источников покрытия этой потребности в энергоносителях. Причем исследование альтернатив энергообеспечения в условиях устойчивого социально-экономического развития осуществляется с соблюдением ограничения ожидаемой экологической нагрузки на окружающую среду от деятельности предприятий ТЭК.

По результатам определения потребности в ТЭР и источников ее покрытия выполняется вариантная разработка системы перспективных топливно-энергетических балансов.

Согласно ожидаемым масштабам развития отечественного

энергетического потенциала прогнозируются потребности в ключевых материальных и финансовых ресурсах.

Масштабность прогнозно-аналитических процессов по определению основных параметров энергообеспечения устойчивого социально-экономического развития страны на перспективу при условиях высокой разветвленности и значительной цикличности расчетов требует их логической и поэтапной согласованности (рис.7.1).

Схема комплексного определения параметров энергообеспечения перспективного социально-экономического развития страны, сжато отображающая сценарии скоординированных расчетов по моделированию развития ТЭК согласно макроэкономической динамике, имеет следующее содержание.

1. Подготовка информационной базы об использовании топлива, электрической и тепловой энергии в отчетном периоде, расчет основных показателей энергоемкости и определение ключевых проблем энергообеспечения экономики и социальной сферы в базовом периоде.

2. Разработка основных принципов энергообеспечения устойчивого социально-экономического развития страны на перспективу с соблюдением основных требований и критериев энергетической, экологической и экономической безопасности.

3. Подготовка базовых сценариев, выбор методических подходов и определение основных макроэкономических показателей социально-экономического развития страны в целом и отдельных ее секторов и социальной сферы на основе использования модели “затраты-выпуск” (межотраслевой модели по видам экономической деятельности); формирование очередного варианта системы макроэкономических показателей как базовых факторов оценки потребности Украины в топливно-энергетических ресурсах в прогнозном периоде.

4. В соответствии с концепцией энергообеспечения страны на перспективу получение общих и удельных оценок экономии топлива, электроэнергии и теплоэнергии перспективного периода (по 5 лет).

5. Определение с помощью выбранных методов потребности экономики (в основных ее секторах), жилищно-коммунального хозяйства и населения в топливе, электроэнергии и теплоэнергии. Расчет структуры ожидаемой в перспективе потребности страны в энергетических ресурсах и расширение доли других видов энергоносителей и источников энергоснабжения на действующих мощностях.

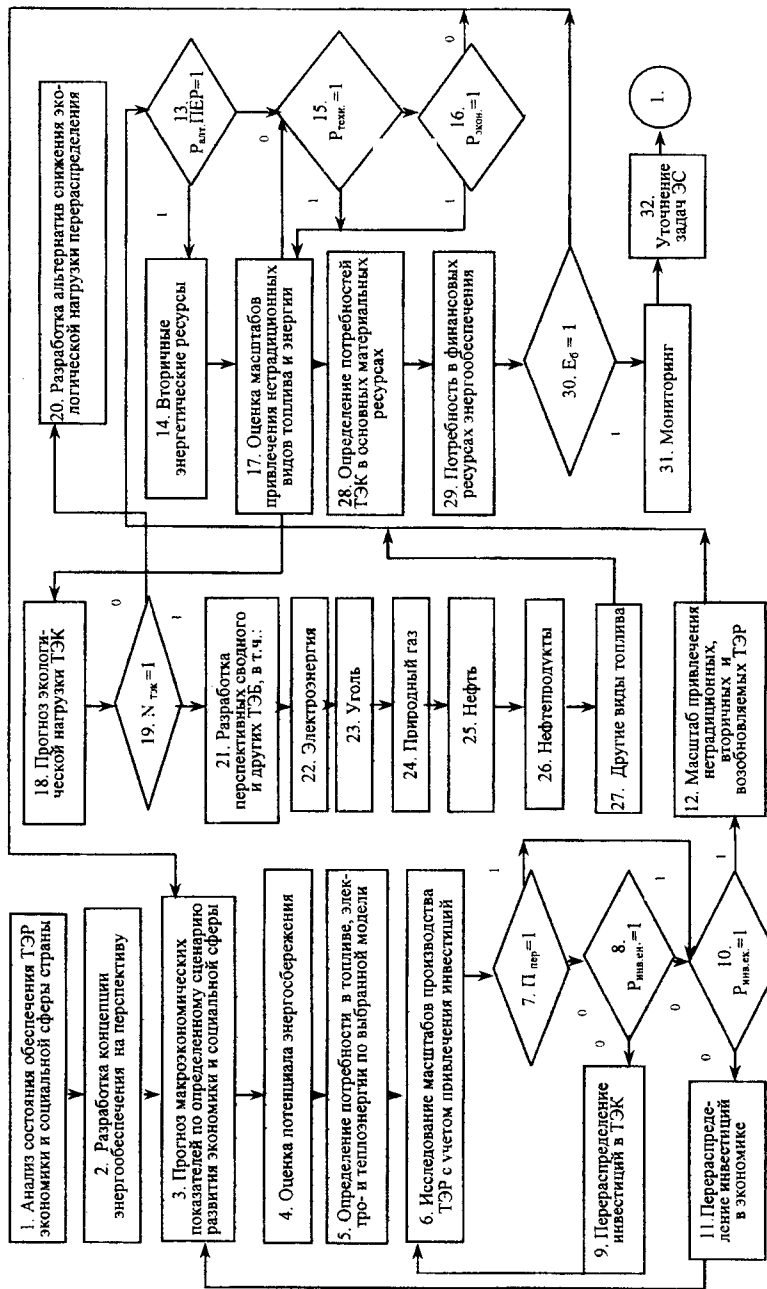


Рис. 7.1. Схема комплексного определения параметров энергообеспечения устойчивого социально-экономического развития Украины.

6,7,8,9,10,11. Оценка производственного потенциала предприятий ТЭК страны относительно добычи, переработки, генерации и привлечения других видов и источников энергетических ресурсов с использованием отечественных и иностранных инвестиций, без учета затрат на экологизацию (8,9) и учет этих дополнительных затрат (10,11).

12. Исследование возможностей доли потребности в ТЭР, которая может быть покрыта за счет привлечения вторичных ТЭР и нетрадиционных ТЭР и источников: оценка действующего потенциала нетрадиционных ТЭР.

13,14. Анализ и определение масштабов привлечения вторичных энергетических ресурсов.

15,16,17. Анализ технических и экономических возможностей (15,16) и определение реальных масштабов привлечения нетрадиционных и возобновляемых видов топлива и энергии.

18. Прогноз ожидаемой экологической нагрузки ТЭК в перспективе.

19,20. Сравнение ожидаемого с допустимым уровнем экологической нагрузки ТЭК в перспективе и поиски возможных вариантов снижения влияния ТЭК на окружающую среду.

21–27. Комплексная разработка сводного и по видам топливно-энергетических балансов, включая балансы формирования и распределения: электроэнергии (22), угля и продуктов его переработки (23), природного газа (24), нефти (25), нефтепродуктов (26) и других видов топлива (27).

28. Оценка обеспеченности в перспективе развития основным оборудованием и отдельными материальными ресурсами ТЭК страны.

29. Определение потребностей в инвестиционных ресурсах для обеспечения намеченных темпов роста ТЭК.

30. Оценка ожидаемых индикаторов и критериев энергетической безопасности и проверка их на соответствие установленным нормативам.

31. Определение системы показателей ежегодного наблюдения (мониторинг) за поэтапной реализацией намеченных параметров развития топливно-энергетического комплекса для обеспечения устойчивого социально-экономического развития страны.

В случае соответствия реализации намеченных задач энергообеспечения устойчивого социально-экономического развития результаты обобщаются и подаются компетентным государственным

структурам. Комплексный прогноз обеспечения устойчивого социально-экономического развития ТЭР по описанному сценарию считается выполненным.

32. В случае выявления недопустимых (по принятым критериям) отклонений осуществляется анализ факторов, которые способствовали этому, разрабатываются мероприятия по уточнению задач и переход к оценке ожидаемого в перспективе состояния обеспечения ТЭР экономики и социальной сферы. (см. п.1 Схемы, рис.7.1).

Предложенная логико-функциональная схема комплексного анализа и прогнозирования энергообеспечения перспективного развития экономики и социальной сферы как целостного процесса разрабатывается на основе поэтапного создания компьютерных средств с декомпозицией выполнения отдельных подэтапов с формализацией комплексов расчетных и аналитических процессов и последующей их интеграцией для подготовки взвешенных решений относительно обоснования перспективного развития ТЭК.

При использовании предложенной логико-функциональной схемы будет обеспечиваться, с одной стороны, комплексность реализации конкретных сценариев (имитационное моделирование взаимосвязанных процессов) определения параметров энергообеспечения согласно темпам и пропорциям социально-экономического развития страны. Необходимо учитывать то, что в этом комплексе формализуются, а значит, и подлежат компьютерной реализации расчетные и аналитические процессы, а альтернативные сценарии решения формируются экспертным путем. Кроме того, масштабность взаимосвязанных процессов требует их поэтапной компьютеризации, т.е. логико-функциональная схема комплексного прогноза энергообеспечения на основе современной информационной технологии позволяет структурировать единый процесс на отдельные блоки и поэтапно (на основе единого плана) их компьютеризировать. Каждый блок схемы описывается соответствующей системой методических положений и алгоритмов.

В данной системе расчетов ключевое значение имеют методические положения и алгоритмы определения параметров социально-экономического развития для прогноза потребности в ТЭР и развития топливно-энергетического комплекса в целом; оценка уровня экономики ТЭР, прогноз влияния ТЭК на природную среду; определение потенциала добычи (производства) ТЭР на отечественных предприятиях; экспертная оценка объемов возможного привлечения вторичных и нетрадиционных ТЭР; характеристика обеспеченности

основным оборудованием; применение современных технологий и предельных потребностей в инвестиционных (финансовых) ресурсах. Указанные блоки прогнозных и аналитических процессов имеют разный уровень формализации, индивидуальные методологические положения и алгоритмы определения, некоторые из них рассмотрены ниже.

## **7.2. Межотраслевой баланс формирования и распределения продукции (услуг) как методологическая основа прогнозирования макроэкономических показателей**

В рыночных условиях хозяйствования обоснование перспективных решений в сфере социально-экономического развития опирается на взвешенные оценки ожидаемого изменения спроса и реальные ресурсы предложения, в которых бы учитывались многовекторные требования государственной политики для достижения приоритетных результатов социально-экономического развития страны. Автономное прогнозирование основных макроэкономических показателей не обеспечивает взаимосогласованности показателей роста основных секторов экономики. Кроме того, в процессе реализации основных задач социально-экономического развития страны возникают их отклонения от намеченной траектории. Это требует оперативных перерасчетов ожидаемых последствий и адекватных корректирующих решений, которые в сжатые сроки можно подготовить при наличии соответствующей методологии и программных средств.

При наличии отработанной методологии обработки отчетных и определенных навыков формирования перспективного межотраслевого баланса (МОБ) производства и распределения продукции (услуг), которая использовалась еще в условиях плановой экономики, можно рассчитывать на потенциальные возможности использования модели МОБ для комплексного прогнозирования макроэкономических показателей социально-экономического развития.

Уже адаптированная к новым требованиям отчетности разработка отчетного МОБ по методологии системы национальных счетов, а с 2000 г. – и к принятой по рекомендации ООН системы дифференциации и кодирования (по видам экономической деятельности) секторов экономики создает модельную и информационную базу сбалансированного определения на перспективу основных показателей социально-экономического развития страны. Методологическая схема разработки МОБ может использоваться для комплексного



обоснования динамики основных макроэкономических показателей в зависимости от рекомендованных приоритетов экономической политики, определенных задач повышения уровня и условий жизни населения, разрабатываемых сценариев развития экономики и основных ее секторов в перспективе.

Состав макроэкономических показателей перспективного МОБ (ВВП, ВДВ, элементы ВВП и ВДВ, выпуск продукции (услуг) и объемы импортирования дефицитных ее видов по секторам экономики) необходимы для оценки потребности в ТЭР. Одновременно эти параметры социально-экономической динамики (в рамках МОБ) соответствуют ожидаемому спросу на продукцию (услуги) по видам деятельности, т.е. предложение оказывается в этой модели сбалансированным с масштабами конечного потребления, накопления и экспортирования основных видов продукции, которые определяют финансовые, инвестиционные и материальные потоки. Это все делает методологию разработки перспективных МОБ (по международной терминологии – “затраты-выпуск”) органической составляющей в системе методических рекомендаций по определению спроса и предложения финансово-экономических ресурсов при обосновании решений стратегии экономического и социального развития страны.

Определение необходимых для разработки балансов макроэкономических показателей базируется на методических подходах макроэкономического прогнозирования и включает в себя: прогноз спроса – конечного потребления, валового накопления и экспорта и оценку предложения – объемов выпуска продукции, или прогноз динамики ВДВ и ее составляющих в номенклатуре основных секторов экономики.

Прогноз макроэкономической динамики выполняется путем поэтапного прогнозирования исходных параметров и составляющих ВВП (ВДВ) по секторам экономики, включая:

- определение предложения выпуска продукции (услуг) по индексам физического роста по каждому виду деятельности;
- оценки динамики промежуточного потребления;
- расчет ВДВ и ВВП.

Для количественной оценки ключевых параметров социально-экономического роста при решении основных задач экономической стратегии прогнозные расчеты с использованием методологии и модели МОБ выполняются в следующей последовательности.

Определяется (на основе данных отчетного МОБ) выпуск продукции (предоставление услуг) по видам деятельности по отдельным

годам прогнозного периода. Расчет выполняется в сопоставимых ценах согласно темпам их роста.

Следует отметить, что имеющиеся теоретические разработки по макроэкономическому прогнозированию (например [67, 68]) позволяют использовать и другие подходы, в основе которых лежит определение конечного потребления по прогнозным технологическим коэффициентам (коэффициентам прямых затрат), разрабатываемым с учетом структурных изменений и выбора перспективных базовых технологий по видам деятельности. Иметь такой прогнозный комплекс в системе имитационного прогнозирования – идеальная ситуация. Однако такие средства еще не разработаны. Их создание – самостоятельная сложная задача.

Для исследования энергообеспечения перспективы социально-экономического развития в рамках имитационного прогнозирования достаточно использовать сравнительно простой метод макроэкономической динамики. При этом должны учитываться базовые условия сбалансированности между секторами и воспроизводственными процессами в экономической системе, в первую очередь в части энергоемких видов деятельности.

Поэтому предлагается прогноз промежуточного потребления по каждому виду деятельности выполнять, исходя из затратоемкости производства (по виду деятельности) в базовом периоде и ожидаемого ее изменения в прогножном периоде.

На основе прогнозов объемов выпуска продукции (услуг) по видам деятельности ( $B_j^p$ ) и промежуточного потребления ( $ПП_j$ ) и полученных по разности ВДВ по  $j$ -м видам деятельности ( $ВДВ_j$ ) и ВВП в основных ценах определяется комплекс показателей ожидаемой в прогножном периоде макроэкономической динамики. Перерасчет ВВП в рыночные цены выполняется путем учета объемов налогов и субсидий на продукты и импорт в прогножном периоде.

Объем конечного потребления ВВП прогнозируется с учетом:

- динамики потребления домашних хозяйств;
- ожидаемых затрат некоммерческих организаций, которые обслуживают домашние хозяйства;
- затрат на общегосударственное управление, включая индивидуальные, коллективные затраты и операции с военной техникой, которая использовалась;
- валового накопления основного капитала;
- изменений запасов материальных оборотных средств;
- чистого приобретения ценностей;

- экспорта продукции (услуг) в зависимости от конъюнктуры внешнего рынка.

Динамика потребления домашними хозяйствами в перспективе пропорциональна росту доходов населения (за исключением отложенного спроса и с учетом других особенностей изменения затрат домашних хозяйств, а также структурных изменений частного сектора). Затраты домашних хозяйств включают в себя: затраты на приобретение потребительских товаров (услуг), потребление товаров и услуг в натуральной форме и произведенных для собственного потребления в некорпоративных предприятиях домашних хозяйств, а также условно вычисленную стоимость по проживанию в собственном жилье.

Общий объем услуг некоммерческих организаций, которые обслуживают домашние хозяйства, определяется в зависимости от изменения валовой прибыли в прогнозном периоде.

Услуги некоммерческих организаций по видам деятельности оцениваются с учетом ожидаемого изменения в структуре (объемах) их финансирования.

Затраты общегосударственного управления, включая индивидуальные и коллективные, рассчитываются с учетом намеченной экономики и повышения эффективности их использования и намеченного бюджетного дефицита, учитывают динамику затрат государства на закупку товаров, услуг и общего объема затрат бюджета.

Валовое накопление основного капитала в  $i$ -м периоде определяется как функция общего объема инвестиций с учетом предвиденного их перераспределения и привлечения дополнительных источников инвестирования.

Чистое приобретение ценностей рассчитывается как балансирующая составляющая или на основе тенденций, сложившихся в базовом периоде.

Изменение запасов материальных оборотных средств определяется как балансирующая составляющая МОБ по каждому виду деятельности. При этом исходной базой расчета их динамики служат ожидаемые объемы промежуточного потребления.

Объем экспорта  $i$ -х видов продукции (услуг) прогнозируется исходя из прогнозируемой конъюнктуры региональных и мирового рынков. Они определяются вне этой модели и формируются по экспертным оценкам.

На основе оценки спроса на продукцию (услуги) в отношении  $i$ -х видов деятельности (прогнозных показателей конечного исполь-

зования ВВП) и промежуточного потребления определяется вектор импорта как разность ожидаемого распределения продукции (услуг) по видам деятельности и реального их производства.

Полученные оценки всесторонне анализируются: объем импорта сравнивается с масштабами экспорта и при необходимости пересматривается объем импорта и уточняется объем производства продукции (услуг) с учетом (или без пересмотра) инвестиций. Комплекс расчетов при этом повторяется. С этой целью рассчитывается общий и по видам деятельности спрос, ожидаемый объем выпуска продукции (предоставление услуг), масштабы ее импорта. Выполняется сопоставление (темпы роста) с базовым периодом: спроса, включая экспорт, производства, в том числе импорта продукции (услуг) по видам деятельности и другие макроэкономические параметры.

Полученные прогнозные макроэкономические показатели, выходные данные модели "затраты-выпуск" используются как исходные параметры (непосредственно или как исходный фактор дополнительных расчетов) для имитационных расчетов по обоснованию энергообеспечения перспективного социально-экономического развития страны.

Формализованная постановка сформулированного комплекса расчетов макроэкономических показателей на перспективу изложена ниже.

### **7.3. Методические положения определения на перспективу макроэкономических показателей по динамике прогностических факторов**

*Методические положения прогнозирования макроэкономической динамики.* Определение макроэкономических показателей осуществляется на основе прогнозирования динамики параметров перспективного МОБ формирования и распределения продукции (услуг) в определенной перспективе. Расчет выполняется путем поэтапного прогнозирования спроса и предложения произведенной продукции (услуг). В рамках МОБ спрос на продукцию (услуги) формируется на основе ожидаемого ее потребления домашними хозяйствами, валового накопления основного капитала и экспорта, предложение – как прогноз объемов продукции (услуг) и импорта, в случае неудовлетворенного спроса в соответствующей продукции (услугах). Ключевые макроэкономические показатели – ВВП (ВДВ) и их составляющие рассчитываются при условиях обеспечения сбалансированности

между спросом и ресурсами (ожидаемым объемом собственного производства и импорта). Такие расчеты включают в себя:

- определение объема выпуска продукции (услуг), осуществляется по индексам физического роста по каждому виду деятельности;
- оценки динамики промежуточного потребления;
- расчеты валовой добавленной стоимости (по видам деятельности) ВДВ и ВВП.

Согласно сформулированной схеме прогнозные расчеты ВВП выполняются с использованием рекомендаций [65] в следующей последовательности.

Определим выпуск продукции (услуг) по видам деятельности ( $j$ ) по отдельным годам прогнозного периода ( $t$ ) в сопоставимых ценах:

$$V_{jt}^p = V_{(t-1)j}^p \cdot \tau_{jt} \quad (7.1)$$

где  $V_{jt}^p$  – выпуск продукции (услуг)  $j$ -го вида деятельности в сопоставимых ценах на  $t$ -й период, млн грн;  $\tau_{jt}$  – индекс физического роста выпуска продукции (предоставление услуг)  $j$ -го вида деятельности на  $t$ -й прогнозный период.

Промежуточное потребление по каждому виду деятельности ( $\text{ПП}_{jt}$ ) рассчитывается исходя из затроемкости производства  $j$ -го вида деятельности в базовом периоде и ожидаемого ее изменения в прогнозном периоде:

$$\text{ПП}_{jt} = \frac{\text{ПП}_{(t-1)j}}{V_{(t-1)j}} \cdot V_{jt}^p \cdot K_{jt}^{\text{мп}}, \quad (7.2)$$

где  $K_{jt}^{\text{мп}}$  – коэффициент, который отображает предполагаемые изменения затроемкости  $j$ -го вида деятельности в  $t$ -м году прогнозного периода за счет внедрения соответствующих мероприятий по энергосбережению и применению новейших технологий.

На основе спрогнозированных объемов выпуска продукции (предоставления услуг) в постоянных ценах и ожидаемых характеристик промежуточного потребления в  $t$ -м году прогнозного периода рассчитывается ВВП, произведенный в основных ценах или ценах производителя, которые не учитывают налоги на продукты и импорт, или в неизменных ценах на основе прогнозов объемов выпуска продукции (услуг) по видам деятельности ( $V_{jt}^p$ ) и промежуточного продукта ( $\text{ПП}_{jt}$ ) и полученных по их разнице валовой добав-

ленной стоимости по  $j$ -м видами деятельности ( $\text{ВДВ}_j$ ):

$$\text{ВДВ}_j = \text{В}_j^p - \text{ПП}_j . \quad (7.3)$$

Тогда ВВП рассчитывается из соотношения

$$\text{ВВП}_t = \sum_{j=1}^{38} \text{ВДВ}_{tj} + \text{П}_t - \text{S}_t - \text{ФП}_t , \quad (7.4)$$

где  $j$  – виды деятельности по номенклатуре МОБ (таблицы «затраты–выпуск» за отчетный период);  $\text{П}_t$  – налоги на продукты и импорт в  $t$ -м году;  $\text{S}_t$  – субсидии на продукты и импорт в  $t$ -м году;  $\text{ФП}_t$  – условная продукция финансовых посредников в  $t$ -м году.

Определим темпы изменения ВДВ по  $t$ -м годам прогнозного периода

к предыдущему периоду:

$$\tau_{tj}^{\text{ВДВ}} = \frac{\text{ВДВ}_j^p}{\text{ВДВ}_{(t-1)j}} \cdot 100 ; \quad (7.5)$$

к базовому периоду:

$$\tau_{tj}^{\text{ВДВ}} = \frac{\text{ВДВ}_j^p}{\text{ВДВ}_{tj}} \cdot 100 , \quad (7.6)$$

где  $\text{ВДВ}_{tj}$  – ВДВ базового периода в ценах базового периода.

Темпы изменения ВВП к предыдущему периоду:

$$\tau_{tj}^{\text{ВВП}} = \frac{\text{ВВП}_t^p}{\text{ВВП}_{t-1}} \cdot 100 ; \quad (7.7)$$

к базовому периоду:

$$\tau_{tj}^{\text{В}} = \frac{\text{ВВП}_t^p}{\text{ВВП}_{tb}} \cdot 100 \quad (7.8)$$

где  $\text{ВВП}_{tb}$  – ВВП в ценах базового периода.

Прогнозирование составляющих ВВП и конечного потребления приводятся в Приложении 1.

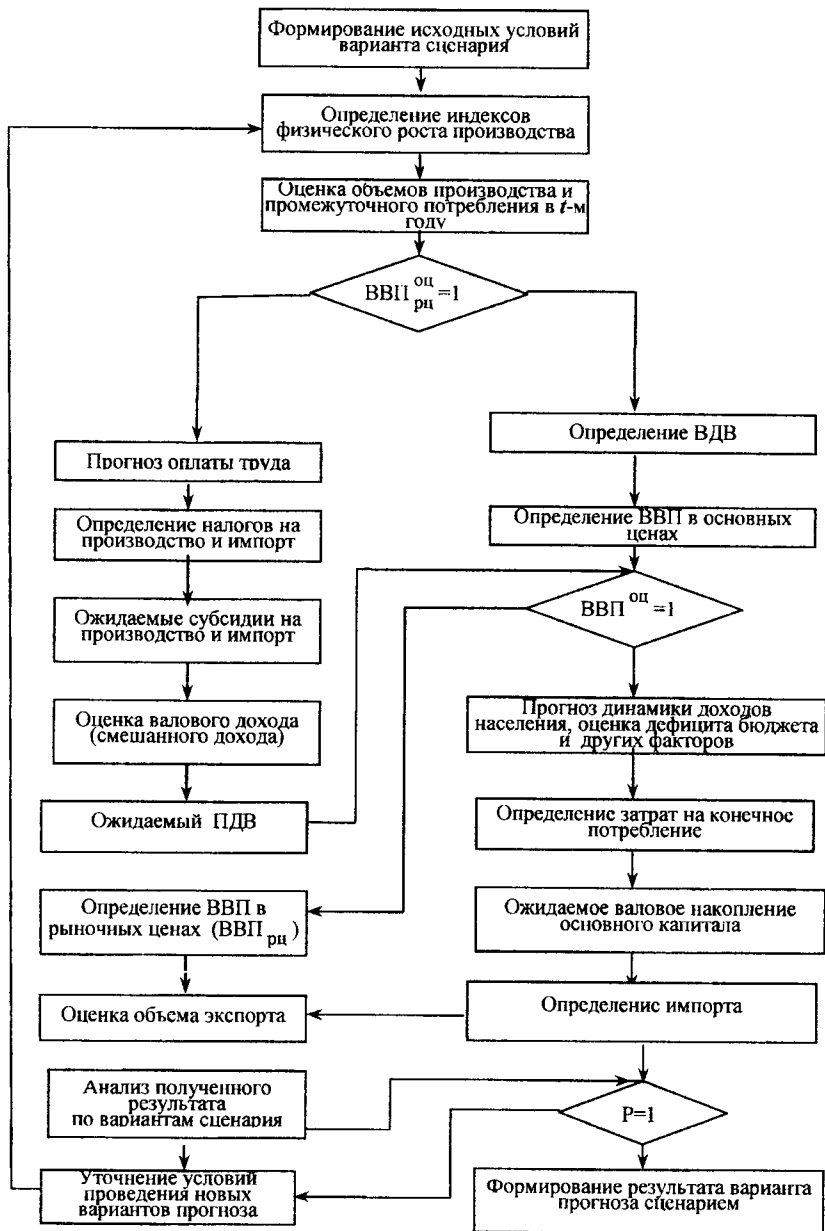


Рис. 7.2. Блок-схема алгоритма прогнозирования основных макроэкономических показателей

*Алгоритм прогнозирования основных макроэкономических показателей.* Алгоритмом предлагается реализация сценария, согласно которому предварительно определяются темпы роста объемов продукции согласно ожидаемому платежеспособному спросу на продукцию (услуги) всех секторов экономики (рис.7.2). Согласно темпам роста (базового периода) в ценах базового периода по предложенным формулам определяется динамика показателей в основных секторах экономики.

На следующем этапе прогнозируются конечное потребление, накопление основного капитала и экспорта продукции (услуг). По оценкам ожидаемого спроса и предложения продукции в определенных секторах экономики, предварительно определяется дефицит продукции, как основы формирования (после экспертного анализа) объема ее импорта.

В результате проведения прогнозно-аналитических расчетов относительно определения динамики макроэкономических показателей по отдельным годам прогнозного периода выявляется последовательность взаимосогласованных оценок параметров перспективного МОБ на основе ожидаемой динамики факторов, которые определяют их изменение в перспективе. Алгоритм расчетов базируется на использовании индексных методов перерасчета факторов (или непосредственно показателей МОБ и показателей и факторов, влияющих на динамику ВВП и его составляющих) на основе методологии формирования и распределения продукции (услуг) в МОБ. При этом спрос на продукцию (услуги) охватывает все направления ее конечного потребления, накопления и возможного экспортирования. Предложение определяется как функция платежеспособного спроса внутреннего рынка и отечественного производственного потенциала с учетом привлечения внутренних и внешних инвестиций.

Система прогнозных макроэкономических расчетов реализуется в интерактивном режиме на основе разрабатываемого сценария, в котором учитываются конкретные особенности социально-экономического развития, связанные с необходимостью пересмотра энергопотребления.

*Исходная информация.* Органической составляющей исходной информации имитационной модели является разработка сценариев будущего социально-экономического развития страны, к условиям которого и разрабатывается система исходных данных. В вариантах сценария закладываются количественные и качественные параметры будущего развития как в части социально-экономических целей



развития, так и ожидаемых условий и факторов на определенный срок.

Базовыми исходными условиями альтернативных вариантов служат нормативно-правовые параметры социально-экономической перспективы, международные обязательства, в том числе в связи с интеграцией в ВТО и ЕС и присоединением к регламентным международным соглашениям. Разработанные при таких условиях варианты сценария конкретизируются системой исходных параметров, которые уточняются экспертами непосредственно в процессе проведения прогнозных расчетов. Эксперту в процессе формирования условий варианта предлагается уточнить каждое изменение, предусмотренное предложенным сценарием: векторы индексов темпов физического роста; различные коэффициенты, которые учитывают изменения условий прогнозного периода, влияющих на динамику фактора или непосредственно макроэкономического показателя.

Исходные данные охватывают информацию для определения ожидаемого спроса на произведенную продукцию (предоставленные услуги) по принятым в расчетах значениям.

Ключевой исходной информацией прогнозирования макроэкономических показателей по предложенной методологии является отчетный баланс формирования и распределения продукции (услуг) МОБ (модели “затраты-выпуск”) и динамика (индексы изменения сравнительно с базовым периодом) факторов, которые их определяют, или отдельных параметров МОБ за последний отчетный период (перечень отчетных и прогнозных параметров МОБ приведен в предыдущем разделе). Факторы и дополнительные показатели и коэффициенты, которые используются при прогнозировании макроэкономических показателей социально-экономического развития страны, представлены ниже.

Для прогнозирования конечного потребления домашних хозяйств входной информацией служат следующие данные по направлениям прогноза.

Ожидаемые доходы населения в прогнозном периоде рассчитываются на основе данных за базовый период о заработной плате, пенсии, стипендии и других платежах и их соответствующие темпы изменений в прогнозном периоде ( $\tau_t^{31}$ ,  $\tau_t^{ст}$ ,  $\tau_t^{ин}$ ). Полученные результаты оценки динамики доходов населения на  $t$ -й год прогнозного периода используются как прогностический фактор для определения общих объемов конечного потребления домашних хозяйств, опираясь на которые рассчитываются масштабы конечного

потребления продукции (услуг) по отдельным видам деятельности.

Конечное потребление продукции домашних хозяйств в отношении видов экономической деятельности рассчитывается с использованием вектора коэффициентов  $\|K_{ij}\|$  (при  $j=42$ ), учитывающих изменение спроса на продукцию (услуги) соответствующих ( $i$ -х) видов деятельности в  $t$ -м периоде.

Прогнозирование услуг некоммерческих организаций, которые обслуживают домашние хозяйства, обеспечивается путем использования роста валового дохода и темпов ожидаемого удельного веса (доли) этих услуг в валовом доходе за предыдущий период  $\|K_{ij}\|$  (при  $j=43$ ).

Затраты общегосударственного управления в целом рассчитываются на основе удельного веса (доли) ( $K^6$ ) ВВП, используемого на эти цели, с учетом допустимого дефицита государственного бюджета ( $d^6$ ). Распределение этих затрат на индивидуальные и коллективные рассчитывается по их удельному весу (доле) в затратах в общегосударственном управлении ( $d^{BI}$ ,  $d^{BK}$ ).

Индивидуальные и коллективные затраты общегосударственного управления по видам деятельности рассчитываются по их удельному весу в прогнозном периоде и соответствующим корректирующим коэффициентам удельного веса (доли) индивидуальных затрат:  $\|K_{ij}^{BI}\|$  и  $\|K_{ij}^{BK}\|$  (при  $j=45$  и  $46$  соответственно).

Валовое накопление основного капитала в аспекте сфер экономической деятельности рассчитывается с использованием вектора коэффициентов, учитывающих перераспределение капиталовложений на накопление по видам деятельности  $\|K_{ij}^{BI}\|$  (при  $j=49$ ).

Для расчета валового накопления основного капитала используются оценки удельного веса капиталозатрат (по всем источникам) в базовом периоде и коэффициента, учитывающего изменение удельного веса капиталозатрат в ВВП в прогнозном периоде ( $K_i^{KB}$ ).

Исходной информацией для прогнозирования и учета изменения запасов материальных оборотных средств является вектор коэффициентов, учитывающих их изменение по видам деятельности  $\|K_{ij}^{KB}\|$  (при  $j=49$ ).

Чистое приобретение ценностей определяется с учетом ожидаемого изменения их в удельном весе (доле) доходов населения в прогнозном периоде ( $K_i$ ).

Для определения динамики производства продукции (услуг) в сопоставимых ценах используется матрица коэффициентов физичес-

кого роста объемов продукции (услуг) в прогнозном периоде  $\|\tau_{ij}\|$ .

Промежуточное потребление прогнозируется с использованием матрицы коэффициентов, которая учитывает намеченные изменения затратно-емкости производства  $\|K_{ij}^{пс}\|$ .

Для прогнозирования размера ожидаемой оплаты труда используются зарплатоёмкость производства в базовом периоде и матрицы коэффициентов, учитывающих ее изменение в прогнозном периоде  $\|K_{ij}^{зп}\|$ , изменение отчислений  $\|K_{ij}^{пв}\|$  и начислений на социальные мероприятия  $\|K_{ij}^{пс}\|$ .

Ожидаемые в прогнозном периоде налоги на производство и импорт определяются с учетом соответствующих матриц коэффициентов, учитывающих изменение размера налогообложения  $\|K_{ij}^{пв}\|$  и  $\|K_{ij}^{пс}\|$ .

Субсидии на производство и продукты рассчитываются с использованием векторов коэффициентов, учитывающих изменения субсидий в прогнозном периоде  $\|K_{ij}^{зп}\|$  и  $\|K_{ij}^{ср}\|$ .

Для определения на перспективу смешанного дохода и чистой прибыли по видам деятельности используются матрицы коэффициентов  $\|K_{ij}^{ок}\|$  и  $\|K_{ij}^{пч}\|$ .

Результаты вариантных прогнозных расчетов макроэкономических показателей зависят от поставленной цели такого прогноза, поэтому они очень разнообразны.

*Представление результатов прогноза.* Результаты прогнозных расчетов макроэкономических показателей формируются согласно особенностям сценария, для условий которого проводится вариант расчета. Базовым составом макроэкономических показателей, которые выдаются по результатам варианта прогноза, является система макроэкономических показателей:

- ВВП по годам прогнозного периода;
- ВДВ в разрезе видов экономической деятельности;
- объем продукции (услуг) по видам экономической деятельности;
- динамика ВВП сравнительно с предыдущим или базовым периодом;
- характеристики изменения основных макроэкономических показателей по этапам прогнозного периода.

Вид цены, в котором выдаются показатели, определяется при формировании условий и вариантов прогноза. Система аналитических расчетов зависит от целей и задач прогнозирования макроэкономической динамики на перспективу.

## ГЛАВА 8

---

# ПОТЕНЦИАЛ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В КОНТЕКСТЕ ОЦЕНКИ СПРОСА НА ЭНЕРГОНОСИТЕЛИ

---

### 8.1. Основные направления энергосбережения

В условиях дефицитности органического топлива, относительно большой энергоемкости ВВП и значительного отрицательного влияния энергетики на окружающую среду энергосбережение является одним из наиболее эффективных направлений хозяйствования в энергетике.

Определение потенциала энергосбережения и его структуры необходимо для обоснования потребности в ТЭР на перспективу. Оценка потенциала проводится в разрезе основных потребителей и видов энергоресурсов.

В соответствии с заданиями Программы энергосбережения общий потенциал энергосбережения составляет 42–48% объема потребления первичных энергоресурсов. Наибольший удельный вес в структуре потенциала имеет промышленность – 55–58%, в том числе 16–19% составляет топливно-энергетический комплекс и 11–12% – жилищно-коммунальное хозяйство. Остальное приходится на сельское хозяйство, транспорт, строительство.

В общем объеме потенциала энергосбережения доля экономии топлива составляет в среднем 50,5%, электроэнергии – 28, тепловой энергии – 21,5%.

Определение потенциала энергосбережения целесообразно осуществлять относительно базового периода, например, в сравнении с потреблением ТЭР в 2000 г. Вместе с тем следует учитывать, что в текущем периоде происходит изменение отчетности относительно характеристики энергопотребления: от потребления, норм и объемов использования ТЭР в разрезе отраслей к их характеристике по видам деятельности.

*Направления энергосбережения в отраслях экономики за счет технологических факторов. Энергосбережение за счет технологического фактора делят на межотраслевое и отраслевое.*

Межотраслевое (по экономике в целом) энергосбережение, согласно предыдущим оценкам, является одним из наиболее эффективных и масштабных направлений, которые могут существенно влиять на уровни энергопотребления. К основным межотраслевым мероприятиям следует отнести:

- применение современных эффективных систем учета и контроля по расходам энергоресурсов;
- внедрение автоматизированных систем управления энергопотреблением;
- использование экономических систем и приборов электроосвещения;
- внедрение современных систем и средств силовой электроники;
- усовершенствование систем теплоснабжения;
- усовершенствование отраслевого учета расходов энергоресурсов и средств управления энергопотреблением;
- рационализация схем энергоснабжения и энергетического баланса предприятий (отрасли);
- малозатратные организационно-технические мероприятия (рационализация режима работы оборудования, дисциплина расходов энергоресурсов, улучшение теплоизоляции и т.п.);
- использование экономических, правовых, административных и других рычагов регулирования уровней потребления топлива и энергии;
- применение современных технологий сжигания низкокачественного твердого топлива;
- использование вторичных энергетических ресурсов в областях, где они образуются;
- улучшение структуры парка электроприборов в отраслях и т.п.

К отраслевым направлениям энергосбережения относятся:

- внедрение новых и расширение масштабов использования уже существующих энергосберегающих технологий, т.е. с рациональным использованием топлива и энергии, в которых удельные расходы энергоресурсов на производство единицы продукции в большинстве случаев ниже по сравнению с существующими базовыми технологиями;
- внедрение нового современного оборудования по использованию энергии и усовершенствованию существующего;
- использование более экономных малоэнергоемких видов сырья и материалов;
- повышение качества продукции;

- выбор наиболее эффективных энергоносителей;
- применение современных прогрессивных технологий добычи, производства и транспортировки энергоресурсов;
- сокращение потерь сырья и материалов;
- уменьшение технологически неоправданных потерь энергоресурсов.

*Направления энергосбережения за счет структурного фактора.* Как показывает опыт осуществления политики энергосбережения в период энергетического кризиса 70–80-х гг. XX в. промышленно развитых стран, существенным фактором снижения энергоемкости ВВП были соответствующие структурные сдвиги в экономике. Доля влияния структурного фактора на показатель снижения энергоемкости ВВП составляла 40–50%.

Основными направлениями структурного энергосбережения являются:

- уменьшение в структуре экономики удельного веса энергоемких и увеличение доли малоэнергоемких наукоемких производств. Такое направление декларируется почти во всех программах экономического развития страны, тем не менее в действительности высокая энергоемкость структуры экономики уменьшается низкими темпами. Дальнейшее развитие имеют такие энергоемкие производства, как металлургический комплекс, химическая и нефтехимическая промышленность, тяжелое машиностроение, отрасли топливно-энергетического комплекса и т.п., что связано с конъюнктурой внешнего рынка. Расчеты влияния структурного фактора на уровни энергопотребления показывают, что объем перерасходов энергоресурсов будет на уровне 2010 г. 18–22 млн т условного топлива, а в перспективе до 2030 г. может вырасти в 1,8–3 раза (в зависимости от вариантов развития экономики);

- снижение материалоемкости экономики. Предварительные расчеты показывают, что при снижении материалоемкости ВВП на каждые 2–3% можно сэкономить только электроэнергии около 1,0 млрд кВт·ч;

- усовершенствование структуры энергетического баланса за счет оптимизации затратной и прибыльной частей баланса, замена дефицитных энергоресурсов новыми и нетрадиционными источниками энергии.

Энергосбережение рассматривается как одно из основных направлений повышения эффективности функционирования экономики

страны. Известно, что стоимость производства и распределения единицы энергоресурса в 2–4 раза выше, чем расход на ее сбережение. Особенно важное значение приобретает энергосбережение в условиях дефицита энергии и импорта больших объемов топлива (газа, нефти, нефтепродуктов). Необходимо сделать ударение на социальном и экономическом значении надежности энергоснабжения, которая возрастает благодаря активной энергосберегающей политике.

Энергосбережение является также наиболее эффективным фактором снижения отрицательного влияния на окружающую среду. Это достигается прежде всего за счет уменьшения вредных газообразных выбросов ( $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  и особенно  $\text{CO}_2$ ), выбросов твердых частиц, теплового загрязнения окружающей среды.

Таким образом, энергосбережение является существенным рычагом повышения эффективности экономики страны и социального уровня ее населения.

Исходя из состояния и тенденций энергосбережения и потребления ТЭР в условиях трансформации экономики и учитывая практический зарубежный опыт, основные принципы энергосбережения базируются на таких положениях:

- комплексность анализа состояния и экономическая обоснованность определения резервов сбережения энергетических ресурсов за счет экономии энергетических ресурсов и сокращения объемов энергоемкого производства;
- оптимизация реконструкции действующих мощностей, внедрение современных технологий (в том числе инновационных моделей) производства и предоставления услуг по передаче и снабжению энергетическими ресурсами;
- создание нормативно-правового обеспечения реализации энергосберегающей политики;
- разработка целостной системы механизмов осуществления государственной стратегии энергосбережения;
- обеспечение мониторинга потребления и экономии ТЭР;
- разработка мероприятий по повышению эффективности реализации Государственной энергетической программы как фактора обеспечения энергетической безопасности страны;
- оценка рисков реализации программы энергосбережения.

## 8.2. Оценка экономии топливно-энергетических ресурсов по секторам и отраслям экономики

Экономия топливно-энергетических ресурсов по отраслям (видам экономической деятельности) на перспективу проводится на основе анализа 12 основных направлений энергосбережения. Эти мероприятия направлены на: внедрение новых энергосберегающих технологий; применение нового энергоэкономичного оборудования; усовершенствование существующих технологий; усовершенствование энергопотребляющего оборудования; повышение качества продукции, усовершенствование сырья и материалов; замещение и выбор наиболее эффективных энергоносителей; уменьшение потерь сырья и материалов; сокращение потерь энергоресурсов; организационно-технические мероприятия; совершенствование учета и контроля за расходами энергоресурсов; экономические, правовые и другие факторы снижения уровней энергопотребления.

Экономически целесообразный и технически возможный объем энергосбережения по видам деятельности (в отраслях промышленности и экономики) согласно итогам мероприятий, которые предлагаются к внедрению по этапам прогнозного периода систематизируются по направлениям, как представлено в табл. 8.1.

Наряду с оценками по направлениям, которые дают возможность систематизировать расчеты и свести их в общие объемы энергосбережения, анализ его по видам деятельности (в отраслях) проводится на основе обобщения объемов экономии от соответствующих мероприятий.

Объемы межотраслевого энергосбережения определяются относительно базового года, в целом они оцениваются как сумма межотраслевых мероприятий сбережения топлива и энергии. К последним относятся такие, которые могут быть реализованы во многих отраслях и имеют общие проблемы их решения, результаты которых представляются в формате данных табл. 8.2. Общие капитальные вложения в этом случае определяются аналогично.

В табл. 8.3 дана форма, по которой представляются результаты оценок об общих объемах экономически целесообразного энергосбережения в натуральном выражении (в процентах относительно значения базового периода) и суммарные необходимые капитальные расходы.



Таблица 8.1

**Экономически целесообразный и технически возможный уровень  
энергосбережения по видам экономической деятельности (в отраслях  
экономики) Украины (относительно уровня базового года)**

Отрасль (вид деятельности)	Период		
	2010	2015	2020
<i>Топливо, тыс. т у. т.</i>			
1. Промышленность, в целом			
1.1			
1.2			
...			
2. Сельское хозяйство			
3. Строительство			
4. Транспорт			
5. Коммунально-бытовое хозяйство			
Всего			
<i>Электроэнергия, млн кВт ч.</i>			
1. Промышленность			
1.1			
1.2.			
...			
2. Сельское хозяйство			
3. Строительство			
4. Транспорт			
5. Коммунально-бытовое хозяйство			
Всего			
<i>Теплоэнергия, тыс. Гкал.</i>			
1. Промышленность			
1.1			
1.2.			
...			
2. Сельское хозяйство			
3. Строительство			
4. Транспорт			
5. Коммунально-бытовое хозяйство			
Всего			
<i>Капитальные вложения, млн грн.</i>			
1. Промышленность,			
...			
2.			
3.			
...			
Всего			

Таблица 8.2

## Объемы межотраслевого энергосбережения до 2020 г.

Наименование мероприятий, вид и единица измерения энергоресурса, который экономится	Период		
	2010	2015	2020
<i>Использование современных приборов учета и контроля за расходами энергоресурсов</i> Электроэнергия, тыс. кВт·ч Теплоэнергия, млн Гкал Топливо, тыс. т у.т.			
<i>Разработка и внедрение автоматизированных систем управления энергопотреблением</i> Топливо, тыс. т у.т. Электроэнергия, тыс. кВт·ч Тепловая энергия, млн Гкал			
<i>Использование топливозаконоomicеских систем и приборов электроосвещения</i> Электроэнергия, тыс. кВт·ч			
<i>Внедрение средств силовой электроники</i> Электроэнергия, тыс. кВт·ч			
<i>Усовершенствование парка электродвигателей</i> Электроэнергия, тыс. кВт·ч			
<i>Внедрение современных технологий сжигания низкокачественного угля</i> Топливо, тыс. т у.т.			
<i>Усовершенствование систем теплоснабжения</i> Тепловая энергия, млн Гкал			
<i>Расширение масштабов использования вторичных энергоресурсов</i> Топливо, тыс. т у.т.			
<i>Всего</i> Электроэнергия, тыс. кВт·ч Теплоэнергия, млн Гкал Топливо, тыс. т у.т.			
<i>Капитальные вложения</i> <i>В том числе на выполнение мероприятий по экономии:</i> Электроэнергии, тыс. кВт·ч Теплоэнергии, млн Гкал Топлива, тыс. т у.т.			

Окончание табл. 8.2

<i>Экономия ТЭР в целом</i>			
Электроэнергия, тыс. кВт·ч			
Топливо, тыс. т у.т.			
Теплоэнергия, млн Гкал			
<b>Всего</b>			
Электроэнергия, тыс. кВт·ч			
Топливо, тыс. т у.т.			
Теплоэнергия, млн Гкал			

Таблица 8.3

**Общий объем экономически целесообразного энергосбережения  
(относительно уровня 2000 г.)**

Составляющие энергосбережения	Год		
	2010	2015	2020
<i>Топливо, млн т у.т.</i> Экономически целесообразное технически возможное энергосбережение в отраслях Экономически целесообразное межотраслевое энергосбережение Всего			
<i>Электроэнергии, млн кВт·ч.</i> Экономически целесообразное технически возможное энергосбережение в отраслях Экономически целесообразное межотраслевое энергосбережение Всего			
<i>Теплоэнергия, млн Гкал.</i> Экономически целесообразное технически возможное энергосбережение в отраслях Экономически целесообразное межотраслевое энергосбережение Всего			
<i>Капитальные вложения, млн грн</i> Экономически целесообразное технически возможное энергосбережение в отраслях Экономически целесообразное межотраслевое энергосбережение Всего			

## ГЛАВА 9

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОСТИ ЭКОНОМИКИ, СОЦИАЛЬНОЙ СФЕРЫ И НАСЕЛЕНИЯ В ТЭР НА ПЕРСПЕКТИВУ

### 9.1. Основные факторы определения потребности в ТЭР

Основными факторами, определяющими потребности в ТЭР, являются:

- динамика и структура реальных (прежде всего энергоемких) секторов экономики и жилищно-коммунального хозяйства, направленность развития социальной сферы и задания по повышению уровня жизни населения (в части, которая влияет на его энергообеспечение);
- уровень энергопотребления, сложившийся в стране в базовом периоде;
- материализация государственной политики в области энергосбережения, (внедрение современных энергоэкономичных технологий, оптимизация ценовой (тарифной) политики на энергоносители, создание адекватных рыночным условиям механизмов реализации энергетической политики на внутреннем рынке);
- учет глобализации в энергетике и экономических процессов в целом, повышение открытости этого сектора экономики как составляющей национальной хозяйственной системы, которая все больше интегрируется в региональные и мировые экономические структуры;
- государственная политика на внутреннем энергетическом рынке;
- экспортно-импортная дипломатия в сфере энергетики;
- основные принципы национальной энергетической стратегии на длительный срок.

Основными показателями, необходимыми для определения в базовом периоде на перспективу потребности в ТЭР являются:

- объем (в неизменных ценах) и динамика ВВП;
- объем и динамика ВДВ по видам деятельности и в региональном разрезе;
- объем производства основных энергоемких видов продукции

(работ, услуг) в составе видов деятельности (отраслей);

- объем и удельные расходы топливно-энергетических ресурсов в целом и по видам деятельности, по видам продукции, работ.

Важной составляющей прогнозирования потребности в ТЭР является оценка масштабов экономии энергетических ресурсов в целом и по видам деятельности.

При определении потребности в конкретных видах ТЭР следует опираться на надежную отчетную информацию базового периода, использовать ожидаемую в прогнозном периоде характеристику потребителей, которые будут содействовать дифференциации по видам энергоносителей общего потребления ТЭР.

Отправным этапом в определении структуры потребления ТЭР служит отчетная информация об использовании топливно-энергетических ресурсов (форма 4 МТП) в натуральном и условном выражениях, которые подлежат корректировке за счет эффективной технологически возможной замены дефицитных видов энергоносителей на более доступные. Перерасчет условного топлива в натуральный энергоноситель осуществляется на основе теплового эквивалента единицы соответствующего вида энергоносителя. Тепловой эквивалент энергоносителя отображает отношение теплоты сгорания единицы конкретного вида энергоносителя к теплоте сгорания килограммов условного топлива, которая равняется 7000 Ккал/кг, или 29300 кДж/кг. Может использоваться также нефтяной тепловой эквивалент энергоносителя, который соответствует теплоте сгорания 10000 Ккал/кг условного топлива.

В прогнозно-аналитических расчетах следует учитывать динамику качественных характеристик топлива.

Перевод любого вида энергоносителя в натуральном выражении в условное топливо обеспечивается производением его теплового эквивалента на объем этого ТЭР.

Основными источниками отчетной информации об общих и удельных расходах ТЭР в основных секторах экономики и по регионам, которая используется для количественной характеристики энергообеспечения в базовом периоде являются следующие формы статистической отчетности:

- баланс производства и распределения электрической энергии (форма Е-3);

- отчет об остатках топлива и горюче-смазочных материалов и их использовании (форма 4 МТП);

- отчет об использовании топлива, теплоэнергии и электро-

энергии. Использование топлива на производство отдельных видов продукции и работ (форма 11 МТП).

Прогнозирование потребности в ТЭР – многовариантный процесс, в котором обрабатывается информация о состоянии использования ТЭР при определенных объемах производства продукции, работ, услуг и уровня энергообеспечения социальной сферы и населения в базовом периоде, а также о намеченных темпах экономического роста, задачах развития жилищно-коммунального хозяйства и намеченном уровне энергообеспечения населения.

Как ключевые факторы определения тенденций потребления энергетических ресурсов в разрезе секторов экономики используются также показатели изменения валовой добавленной стоимости и ее структуры в прогнозном периоде. В расчетах потребности в ТЭР учитывается влияние научно-технического прогресса на изменение удельных расходов потребления топливно-энергетических ресурсов в секторах реальной экономики и рост потребления энергетических ресурсов в социальной сфере и населением в рамках повышения уровня жизни населения в перспективе. Потребности в ТЭР социальной сферы определяются исходя из задач роста уровня жизни населения (в части энергообеспечения), наращивания жилищного строительства, а также обеспечения топливом, электрической и тепловой энергией зданий общественного назначения.

В расчеты потребности в котельно-печном топливе включаются позиции, которые относятся к наиболее энергоемким видам продукции и работ, а по суммарным объемам потребления топлива составляют более 60–65% от общей потребности в экономике и в жилищно-коммунальном хозяйстве. В энергоемких секторах экономики это такие виды продукции и технологические процессы: производство электроэнергии, отпускаемой тепловыми электростанциями; отпуск тепловой энергии ТЭС, а также промышленными и районными котельными; производство чугуна; прокат черных металлов и прочие. В жилищно-коммунальной сфере и энергообеспечении населения к этим позициям относятся: отопление жилищного фонда, зданий и сооружений общественного назначения, санитарно-гигиенические нужды (горячее водоснабжение), готовка пищи, хозяйственные нужды населения (стирка белья, уборка помещений, готовка кормов для домашних животных, подогрев воды животным для питья и прочие), а также производство тепловой энергии в

котельных и ТЭЦ теплоснабжающих предприятий отрасли.

В прогнозном периоде следует значительно сократить использование природного газа на производство электрической и тепловой энергии расширением использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, а также заменой его углем собственной добычи. Целесообразно поэтапно осваивать геотермальную энергетику, использовать метан угольных месторождений и привлекать другие виды энергетических ресурсов. Использование этих и других нетрадиционных и возобновляемых источников энергии и топлива дает возможность сократить потребность в топливе для жилищно-коммунального хозяйства на период до 2011 г. по предыдущим оценкам на 0,15 млн т у.т.

В перспективе следует предусматривать использование собственных местных видов топлива в регионах страны. К ним отнесены децентрализованные заготовки топлива. Это выборка угля из шахтных терриконов, рубка деревьев при уходе за лесными массивами, придорожными лесными полосами, отходы сельскохозяйственного и промышленного производства и прочие. Ежегодно до 2011 года есть возможность использовать децентрализованные заготовки топлива до 3 млн т у.т.

Исходя из этих положений оценки потребности в ТЭР жилищно-коммунального хозяйства и населения выполняются с учетом будущих структурных сдвигов в жилищно-коммунальном хозяйстве и в его подотраслях, удовлетворения в топливе, теплоэнергии и электроэнергии городского и сельского населения, коммунально-бытовых потребителей с учетом прироста жилищного фонда, помещений социальной сферы, численности населения, которая намечается.

Полученные оценки потребности жилищно-коммунального хозяйства в котельно-печном топливе, электрической и тепловой энергии используются при определении потребностей в соответствующих ТЭР в целом по Украине.

Оценка потребности экономики, жилищно-коммунального сектора и населения в топливе, тепловой и электрической энергии в 2005–2010 гг. в разрезе отраслей осуществляется исходя из темпов роста производства соответствующих отраслей, их структурной динамики и учета экономии электроэнергии по определенным сценариям их развития в перспективе.

## 9.2. Сценарии определения ожидаемой потребности в топливно-энергетических ресурсах на перспективу.

Выбор схемы и методических подходов к оценкам объемов ТЭР, которые необходимы для достижения предвиденных темпов и пропорций социально-экономического развития страны, зависит от требований к результатам такого прогноза, имеющейся отчетной информации, возможностей оперативного пересмотра сценариев (вариантов), получения уточненных макроэкономических параметров на определенный прогнозный период.

Основными требованиями к методическим положениям и средствам прогноза потребности в ТЭР являются:

- научная обоснованность потребности;
- полнота оценок, как общей потребности, так и основных видов ТЭР;
- оперативность проведения вариантных расчетов при изменении исходных условий и параметров, влияющих на объемы и структуру энергообеспечения.

Возможные сценарии прогноза потребности в ТЭР разрабатываются адекватно темпам и пропорциям социально-экономического развития исходя из предположений относительно возможного его энергообеспечения. Базовые схемы определения потребности в ТЭР формируются с учетом требований к результатам прогноза и имеющейся прогностической и основной информации. Ниже представлены отдельные варианты возможных сценариев оценки потребности в энергетических ресурсах.

1. *Определение общих (предельных) объемов ТЭР, достаточных для поддержки намеченных темпов роста ВВП.* На основе имеющейся статистической отчетности, методологии оценок потенциала энергосбережения определяются предельные потребности в топливе, электро- и теплоэнергии согласно темпам и пропорциям социально-экономического развития страны. Полученные агрегированные оценки потребности (на основе отчетных характеристик энергопотребления и согласно ожидаемой структуре потребителей) дифференцируются по видам деятельности в целом и в разрезе основных видов ТЭР согласно прогнозной в перспективе структуре потребителей.

2. *Прогноз потребности ТЭР по их удельным расходам (с учетом их поэтапного снижения) на единицу продукции (работ, услуг) и ожидаемых в перспективе объемов продукции (ВДВ) соответ-*



вующих видов деятельности (секторов экономики). Полученные по секторам и видам деятельности потребности дезагрегируются (дифференцируются) по видам основных энергоносителей согласно намеченной политике энергообеспечения ключевых потребителей ТЭР.

3. *Определение перспективных объемов потребления ТЭР нормативным методом по динамике производства наиболее энергоемких видов продукции (работ, услуг).*

На основе полученных оценок потребности в ТЭР по отдельным видам энергоемкой продукции (работ, услуг) и удельного веса в прогнозном периоде этих расходов в общем потреблении энергетических ресурсов определяются общий и дифференцированный расходы энергетических ресурсов.

Следующие по всем сценариям прогнозные расчеты потребности в ТЭР осуществляются согласно предложенной схеме (см. рис.7.1).

Методические положения каждого из сформулированных сценариев нужно реализовывать согласно определенной схеме комплексного прогнозирования энергообеспечения социально-экономического развития страны, базовые элементы которой характеризуется ниже. При этом энергообеспечение жилищно-коммунального хозяйства и населения рассчитывается отдельно согласно ожидаемой численности, адекватным прогнозному развитию жилищно-коммунального хозяйства, в том числе бюджетной сферы, и предвиденной государственной политики в обеспечении ТЭР населения на перспективу и прибавляется к получаемым оценкам потребности в ТЭР.

### **9.3. Определение потребности экономики, социальной сферы и населения в ТЭР на перспективу**

*Определение предельной потребности в ТЭР в прогнозном периоде (сценарий 1).*

Предельные потребности в ТЭР характеризуют наиболее вероятные объемы потребления топлива, электро- и теплоэнергии для обеспечения устойчивого социально-экономического развития страны. Прогноз выполняется поэтапно на основе энергоемкости ВВП в предпрогнозном периоде, по которой рассчитывается ожидаемая потребность в ТЭР на следующий период с учетом уменьшения ее на экономически целесообразную и технически возможную экономию топлива, электро- и теплоэнергии.

Для обеспечения надежности прогнозов спроса на энергетические ресурсы следует располагать методологией оценки энергоёмкости ВВП в ретроспективном периоде.

*Определение энергетической эффективности на уровне экономики и отдельных ее секторов.* Основным показателем интегральной эффективности использования топливно-энергетических ресурсов на уровне государства является энергоёмкость валового выпуска (В) и энергоёмкость валового внутреннего продукта (ВВП).

Энергоёмкость валового выпуска ( $E_{вв}$ ) – это отношение объема потребления топливно-энергетических ресурсов (Р) для удовлетворения энергетических производственных и непроизводственных нужд к величине валового выпуска (В) и определяется по формуле:

$$E_{вв} = \frac{P}{B}, \text{ кг у.т./грн}; \quad (9.1)$$

где Р – объем потребления топливно-энергетических ресурсов на энергетические цели в целом в стране, кг у.т.; В – объем валового выпуска, грн.

Энергоёмкость валового внутреннего продукта ( $E_{ввп}$ ) – это отношение объема потребления топливно-энергетических ресурсов (Р) для удовлетворения энергетических производственных и непроизводственных потребностей страны к величине валового внутреннего продукта страны (ВВП) и определяется по формуле:

$$E_{ввп} = \frac{P}{ВВП}, \text{ кг у.т./грн}; \quad (9.2)$$

где ВВП - объем валового внутреннего продукта страны, грн.

Объем потребления топливно-энергетических ресурсов на энергетические цели определяется по формуле

$$P = \sum_{i=1}^{i=n} B_i + d_e \cdot W_{\text{ГЭС-ГАЭС}} + d_m \cdot Q_{\text{АЭС}} + d_e \cdot W_{\text{ВНИЗ}} + d_m \cdot Q_{\text{ВНИЗ}} + \\ + B_{\text{ВНИЗ}} + 0,123 \cdot W_{\text{имп}} - 0,123 \cdot W_{\text{экс}}, \text{ кг у.т.}, \quad (9.3)$$

где  $i$  – индекс вида органического топлива;  $n$  – количество видов органического топлива;  $B_i$  – объем потребления  $i$ -того вида органического топлива на энергетические цели, кг у.т.;  $d_e$  – удельные расходы топлива на отпуск электроэнергии на станциях общего

пользования, кг у.т./ кВт·ч;  $W_{\text{АЭС}}^{\circ}$  – отпуск электроэнергии от АЭС, кВт·ч;  $W_{\text{ГЭС-ГАЭС}}^{\circ}$  – отпуск электроэнергии от ГЭС-ГАЭС, кВт·ч;  $d_m$  – удельные расходы топлива на отпуск теплоэнергии на станциях общего пользования, кг у.т./Гкал.;  $Q_{\text{АЭС}}^{\circ}$  – отпуск теплоэнергии от атомных электростанций, Гкал;  $W_{\text{ВНИЭ}}^{\circ}$  – отпуск электроэнергии от электростанций и установок, работающих на возобновляемых и нетрадиционных источниках энергии (ВНИЭ), кВт·ч;  $Q_{\text{ВНИЭ}}^{\circ}$  – отпуск теплоэнергии от установок, работающих на ВНИЭ, Гкал;  $W_{\text{имп}}$  – объем импорта электроэнергии, кВт·ч;  $W_{\text{экс}}$  – объем экспорта электроэнергии, кВт·ч;  $V_{\text{ВНИЭ}}$  – объем ВНИЭ, использованных непосредственно, кг у.т.

Для определения объемов топливно-энергетических ресурсов, потребленных в целом страной (регионом) или отдельной отраслью, необходимо пользоваться данными “Сводного энергетического баланса”, если он составляется.

Согласно статей баланса величина объема топливно-энергетических ресурсов, потребленных страной по ресурсной части баланса, определяется как разница величины показателя Ресурсы-всего и Экспорт ТЭР и Остатки ТЭР (включая закачку природного газа в подземные газохранилища).

Для определения объема топливно-энергетических ресурсов, потребленных сферой материального производства, необходимо от объема потребления топливно-энергетических ресурсов страной отнять объем топлива и энергии, потребленных коммунальным и культурно-бытовым секторами.

Если отсутствует ретроспективный общий энергетический баланс, то для определения объема потребленных топливно-энергетических ресурсов необходимо пользоваться данными текущей государственной статистической отчетности по энергетике (формы отчетности: 4-МТП, 11-МТП, 23-Н, 6-ТП и др.). При этом определение общего объема топлива и энергии необходимо проводить по их отдельным составляющим, согласно формуле (9.3).

Так, объем органического топлива на энергетические цели  $\left( \sum_{i=1}^{i-n} B_i \right)$  по данным статей формы 11-МТР рассчитывается как разница показателя графы 5 строки 9300 раздела 1 и суммы показателей

графы 5 строки 9150 раздела 1, графы 2 строки 1 приложения 2 “вторичные горючие энергоресурсы” и графы 5 строки 1 приложения 2 “вторичные тепловые энергоресурсы”, или пользуясь данными форм 4-МТП и 11-МТП – как сумма показателей раздела 3 “потребление топлива энергетическим сектором” и графы 2 раздела 4 “конечное потребление топлива и горюче-смазочных материалов” формы 4-МТП минус суммы показателей графы 2 строки 1 приложения 2 “вторичные горючие энергоресурсы” и графы 5 строки 1 приложения 2 “вторичные тепловые энергоресурсы” формы 11-МТП.

Значение объемов отпуска электроэнергии от АЭС ( $W_{\text{АЭС}}^{\circ}$ ), ГЭС-ГАЭС ( $W_{\text{ГЭС-ГАЭС}}^{\circ}$ ), ВНИЭ ( $W_{\text{ВНИЭ}}^{\circ}$ ), отпуска теплоэнергии от АЭС ( $Q_{\text{АЭС}}^{\circ}$ ), ВНИЭ ( $Q_{\text{ВНИЭ}}^{\circ}$ ), использованной энергии непосредственно ВНИЭ ( $B_{\text{ВНИЭ}}$ ), и удельные расходы топлива на отпуск электроэнергии ( $d_e$ ) и отпуск теплоэнергии ( $d_m$ ) на станциях общего пользования определяются формами 6-ТП и 6-ТП (гидро), а объемы импорта ( $W_{\text{имп}}$ ) и экспорта ( $W_{\text{экс}}$ ) электроэнергии – формой 5-ЗЭЗ.

Ядерная энергия, гидроэнергия, геотермальная энергия, энергия солнечной радиации, энергия ветра, энергия морских приливов и отливов и энергия других нетрадиционных источников пересчитывается в условное топливо по усредненным фактическим удельным расходам топлива на отпуск электро- и теплоэнергии тепловыми электростанциями общего пользования, работающими на органическом топливе.

Предельные потребности в ТЭР недостаточно учитывают структурные изменения в экономике перспективного периода. Более адекватные оценки потребности в ТЭР обеспечиваются в методическом подходе, который учитывает динамику отдельных секторов (в первую очередь энергоемких) социально-экономического развития и удельные расходы на единицу производства (валовой добавленной стоимости, по видам деятельности).

Определение предельной потребности в ТЭР в прогнозном периоде с дифференциацией по видам ТЭР (топливо, электро- и теплоэнергия) приводится в табличном алгоритме прогноза ТЭР (табл. 9.1).

Таблица 9.1

**Прогноз предельной потребности в топливно-энергетических ресурсах экономики и социальной и непроеизводственной сферы Украины по вариантам социально-экономического развития**

Показатель	Условные обозначения	Модели алгоритма прогнозирования потребности в ТЭР
Темп роста ВВП к предыдущему периоду, %	$\tau_t$	
ВВП, млрд грн	$ВВП_t$	$ВВП_t = \tau_t \cdot ВВП_{t-1}$
<i>Прогнозирование предельной потребности в топливе</i>		
Ожидаемая экономия топлива, тыс. т у.т.	$\Delta T_t$	$\Delta T_t = \Delta T_{t\%} \cdot T_{t6} \cdot 0,01$
Прогноз потребности КПТ с учетом экономии, млн т у.т.	$T_t$	$T_t = TЭ_{t-1} \cdot ВВП_t \cdot 10^{-3} - \Delta T_t$
Топливоемкость ВВП, кг у.т./грн	$TЭ_t$	$TЭ_t = T_t / ВВП_t$
Темп роста потребления топлива к предыдущему периоду, %	$\tau T_t$	$\tau T_t = \frac{T_t}{T_{t-1}} \cdot 100$
Темп роста потребления топлива к базовому периоду, %	$\tau T_6$	$\tau T_6 = \frac{T_t}{T_6} \cdot 100$
Индекс прогнозного периода, год	$t$	
Индекс экономии энергоресурса в %	$t\%$	
Индекс показателя за базовый период	$t6$	
<i>Прогнозирование предельной потребности в электроэнергии</i>		
Ожидаемая экономия электроэнергии, тыс. кВт·ч	$\Delta Э_t$	$\Delta Э_t = \Delta Э_{t\%} \cdot Э_{t6} \cdot 0,01$
Прогноз потребности с учетом экономии электроэнергии, тыс. кВт·ч	$Э_t$	$Э_t = ЭЭ_{t-1} \cdot ВВП_t \cdot 10^{-3} - \Delta Э_t$

Электроемкость ВВП, кВт/грн	$\Xi \Xi_t$	$\Xi \Xi_t = \Xi_t / \text{ВВП}_t$
Темп роста потребления электроэнергии к предыдущему периоду, %	$\tau \Xi_t$	$\tau \Xi_t = \frac{\Xi_t}{\Xi_{t-1}} \cdot 100$
Темп роста потребления электроэнергии к базовому периоду, %	$\tau \Xi_6$	$\tau \Xi_6 = \frac{\Xi_t}{\Xi_6} \cdot 100$
<i>Прогнозирование предельной потребности в теплоэнергии</i>		
Ожидаемая экономия теплоэнергии, тыс. Гкал	$\Delta TE_t$	$\Delta TE_t = \Delta TE_{t\%} \cdot TE_6 \cdot 0,01$
Прогноз потребности теплоэнергии с учетом экономии, тыс. Гкал	$TE_t$	$TE_t = TE_{t-1} \cdot \text{ВВП}_t \cdot 10^{-3} - \Delta T_t$
Теплоемкость ВВП, Ккал/грн	$T \Xi_t$	$T \Xi_t = TE_t / \text{ВВП}_t$
Темп роста потребления топлива к предыдущему периоду, %	$\tau TE_t$	$\tau TE_t = \frac{TE_t}{TE_6} \cdot 100$
Темп роста потребления топлива к базовому периоду, %	$\tau TE_6$	$\tau TE_6 = \frac{TE_t}{TE_6} \cdot 100$

*Прогноз потребности в ТЭР на основе динамики производства (валовой добавленной стоимости – ВДС) по видам экономической деятельности и изменения удельных расходов топлива, электро- и теплоэнергии на единицу произведенной продукции, или ВДС (сценарий 2).*

Вариантные прогнозы объемов производства (ВДС) по видам деятельности, полученные в результате формирования с помощью макроэкономической модели “затраты-выпуск” ВВП и его составляющих, являются основной составляющей прогноза потребности в ТЭР по видам деятельности и страны в целом (с дополнительным учетом потребности в них жилищно-коммунального сектора и населения). При этих условиях объем ТЭР, который понадобится для обеспечения конкретного варианта социально-экономического развития, будет

определяться изменением расходов энергии на единицу продукции (работ, услуг). При прогнозировании удельных расходов ТЭР на единицу продукции (ВДС) учитывается влияние основных факторов, которые в перспективе будут определять уровень потребления ТЭР, включая внедрение энергосберегающих технологий, масштабы модернизации действующих производств, усовершенствование нормативно-правового обеспечения непосредственно в энергетическом секторе экономики и в реализации государственной политики энергосбережения и повышение конкурентоспособности отечественного производства в условиях интеграции национальной экономики к ЕС и ВТО. Прогнозные алгоритмы определения потребности в энергоресурсах в разрезе видов деятельности и в целом по Украине представлены в табл. 9.2.

Таблица 9.2

**Прогноз потребности в топливно-энергетических ресурсах экономики и социальной и непромышленной сферы Украины (на основе динамики производства и изменения удельных расходов ТЭР)**

Разрез прогноза	Условные обозначения	Модели алгоритма прогнозирования потребности в ТЭР
Объем произведенной продукции (ВВ), или ВДВ по другому виду деятельности, млн грн	$ВВ (ВДС)_{ii}$	$ВВ (ВДС)_{ii} = ВВ (ВДС)_{ii-1} \cdot \tau_{ii}$
Темп роста производства (ВДВ) $i$ -го вида деятельности	$\tau_{ii}$	
<i>Прогнозирование потребности в топливе</i>		
Прогноз потребности в топливе согласно темпам социально-экономического развития с учетом экономии, тыс. т у.т.	$T_i$	$T_i = \sum_{i=1} T_{ii}$
Удельные расходы топлива на единицу произведенной $i$ -й продукции (ВДВ) по виду деятельности, кг у.т./грн	$q_i$	$q_{ii} = f(n_1, n_2, \dots, n_m)$
Прогноз потребности в топливе для $i$ -го вида деятельности с учетом экономии, тыс. т у.т.	$T_{ii}$	$T_{ii} = ВВ (ВДС)_{ii} \cdot q_{ii} \cdot 10^{-6} - \Delta T_{ii}$

Топливоемкость ВВ или ВВП, кг у.т./грн	$T_{it}$	$T_{it} = \frac{T_{it}}{ВВ(ВДС)_{it}}$
Темп роста потребления топлива к предыдущему периоду, %	$\tau T_{it}$	$\tau T_{it} = \frac{T_{it}}{T_{it-1}} \cdot 100$
Темп роста потребления топлива к базовому периоду, %	$\tau T_{itб}$	$\tau T_{itб} = \frac{T_{it}}{T_{itб1}}$
Индекс прогнозного периода для $i$ -го вида деятельности, год	$it$	
Фактор экономии энергоресурса в %	$n_1 \dots n_m$	
Индекс показателя за базовый период	$itб$	
Ожидаемая экономия топлива по $i$ -му виду деятельности, тыс. т у.т.	$\Delta T_{it}$	
<i>Прогнозирование потребности в электроэнергии</i>		
Прогноз потребности в электроэнергии согласно темпам социально-экономического развития, тыс. кВт·ч	$\mathcal{E}_t$	$\mathcal{E}_t = \sum_{i=1} \mathcal{E}_i \cdot 10^{-3}$
Прогноз потребности по видам деятельности с учетом экономии электроэнергии, тыс. кВт·ч	$\mathcal{E}_{it}$	$\mathcal{E}_{it} = ВВ(ВДС)_{it} \cdot q_{it}^e \cdot 10^{-3} - \Delta \mathcal{E}_{it}$
Электроемкость ВВП, или ВВ, кВт·ч/грн	$\mathcal{E}\mathcal{E}_{it}$	$\mathcal{E}\mathcal{E}_{it} = \frac{\mathcal{E}_{it}}{ВВ(ВДС)_{it}} \cdot 100$
Темп роста потребления электроэнергии к предыдущему периоду, %	$\tau \mathcal{E}_{itб}$	$\tau \mathcal{E}_{itб} = \frac{\mathcal{E}_{it}}{\mathcal{E}_{it-1}} \cdot 100$
Темп роста потребления электроэнергии к базовому периоду, %	$\tau \mathcal{E}_{itб}$	$\tau \mathcal{E}_{itб} = \frac{\mathcal{E}_{it}}{\mathcal{E}_{it-1}} \cdot 100$
Ожидаемая экономия электроэнергии по $i$ -му виду деятельности, тыс. кВт·ч	$\Delta \mathcal{E}_{it}$	



<i>Прогнозирование предельной потребности в теплоэнергии</i>		
Прогноз потребности в теплоэнергии согласно темпам социально-экономического развития с учетом экономии, тыс. Гкал	$T_i$	$T_i = \sum_i T_{ii}$
Удельные расходы теплоэнергии на единицу произведенной продукции (ВДВ) по <i>i</i> -му виду деятельности, Ккал /грн	$q_{ii}^m$	$q_{ii}^m = f(n_1, n_2, \dots, n_m)$
Прогноз потребности по видам деятельности с учетом экономии теплоэнергии, тыс. Гкал	$T_{ii}$	$T_{ii} = \text{ВВ (ВДС)}_{ii} \cdot q_{ii}^m \cdot 10^{-3} - \Delta T_{ii}$
Топливоемкость ВВП, или ВВ, Ккал/грн.	$TЭ_{ii}$	$TЭ_{ii} = \frac{T_{ii}}{\text{ВВ(ВДС)}_{ii}} \cdot 100$
Темп роста потребления топлива к предыдущему периоду, %	$\tau_{ii6}$	$\tau_{ii6} = \frac{T_{ii}}{T_{ii-1}} \cdot 100$
Темп роста потребления теплоэнергии к базовому периоду, %	$\tau_{ii6}$	$\tau_{ii6} = \frac{T_{ii}}{T_{ii6}} \cdot 100$
Ожидаемая экономия теплоэнергии по <i>i</i> -му виду деятельности, тыс. Гкал.	$\Delta T_{ii}$	

*Определение перспективных объемов потребления ТЭР нормативным методом по динамике производства наиболее энергоемких видов продукции (работ, услуг).*

Получаемые количественные характеристики потребности в ТЭР опираются на средние темпы изменения производства (ВДС) и энергоемкости по видам экономической деятельности, а динамику потребления ТЭР и определяют, главным образом, объемы производства наиболее энергоемких видов продукции (услуг). Учитывать эти обстоятельства можно путем прогнозирования ТЭР с помощью “нормативного” методического подхода. С этой целью следует выделить, учитывая объемы потребления энергии, энергоемкие производства (услуги), проанализировать удельные расходы ТЭР за ретроспективный период и определить ожидаемые в прогнозной перспек-

тиве изменения в объемах производства этой продукции (услуг) и удельных расходов ТЭР, а также доли энергопотребления на производстве данной продукции в энергопотреблении представленного вида деятельности, т.е. нормативный метод определения на перспективу топливно-энергетических ресурсов требует дополнительной информации об ожидаемых объемах производства по отдельным видам продукции (работ) и изучения факторов, которые будут определять состояние энергопотребления в соответствующих сегментах видов экономической деятельности.

Потребность в ТЭР экономики в целом определяется с учетом удельного веса ненормированной их доли в общем объеме энергетических ресурсов путем увеличения определенной нормативным методом потребности в энергоресурсах на их ненормированную долю, которая определяется на основе данных за отчетный период.

Отраслевой (по видам деятельности) разрез потребности в ТЭР рассчитывается по удельному энергопотреблению, ожидаемому в прогнозном периоде. Отправным этапом формирования такого вектора служит структура потребления топливно-энергетических ресурсов в базовом периоде, который корректируется согласно намеченным изменениям в энергопотреблении по секторам экономики в прогнозном периоде.

Ниже представим обобщенные модели предложенных сценариев.

Потребность экономики Украины в топливно-энергетических ресурсах в целом –  $W^i_{от}$  (тыс.т у.т.), электроэнергии (тыс.кВт·ч) и теплоэнергии (тыс. Гкал.) может быть определена следующими моделями.

**Первый сценарий:** прогноз ТЭР на основе оценки выпуска продукции (работ, услуг) или валового внутреннего продукта и энергоемкости выпуска продукции или ВВП в базовом периоде и учета объема экономики энергии определяется по формуле

$$W^i_{от} = e_6 В (ВВП)_i 10^3 - \mathcal{E}'_w, \text{ тыс.т у.т., (тыс.кВт·ч, тыс. Гкал),} \quad (9.4)$$

где  $e_6$  – энергоемкость (теплоемкость) выпуска продукции, работ, услуг (валового внутреннего продукта) в базовом году, тыс.т.у.т., (кВт·ч/ грн, тыс. Гкал.); В, (ВВП) $_i$  – объем выпуска продукции, работ, услуг (валового внутреннего продукта), прогнозируемый на  $i$ -й год, грн;  $\mathcal{E}'_w$  – экономия энергии, которая прогнозируется в  $i$ -м году сравнительно с базовым, тыс. т, (тыс. кВт·ч, тыс. Гкал.)

$$e_6 = \frac{W_{\text{пот}}^6}{\text{В(ВВП)}^6} \left( \frac{\text{кг}}{\text{грн}}, \frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{грн}}, \frac{\text{кал}}{\text{тыс.грн}} \right), \quad (9.5)$$

где  $W_{\text{пот}}^6$  – потребление энергии в Украине в базовом году, тыс. т у. т., (тыс. кВт·ч, тыс. Гкал);

$\text{В(ВВП)}^6$  – объем выпуска продукции, работ, услуг (валового внутреннего продукта) в базовом году, грн.

**Второй сценарий:** прогноз ТЭР на основе ожидаемых объемов выпуска продукции, работ, услуг (валовой добавленной стоимости) в разрезе видов экономической деятельности и прогнозных объемов экономии энергоресурсов по каждому виду экономической деятельности и объемов потребления энергоресурсов населением:

$$\sum_{i=1}^{u=n} W_i^t = e_i^6 \cdot \text{В(ВВП)}_i^t \cdot 10^3 - \sum_{i=1}^{u=n} \mathcal{E}_i^t, \quad \text{тыс.т, или тыс.кВт}\cdot\text{ч, тыс.Гкал}. \quad (9.6)$$

где  $e_i^6$  – базовая энергоемкость выпуска продукции, услуг, работ (валовой добавленной стоимости) для  $i$ -го вида экономической деятельности, которая определяется по формуле

$$e_i^6 = \frac{W_i^6}{\text{В(ВВП)}_i^6}, \left( \frac{\text{кг}}{\text{грн}}, \frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{грн}}, \frac{\text{Мкал}}{\text{грн}} \right). \quad (9.7)$$

Обозначим  $W_i^6$  – потребление энергии в базовом году по  $i$ -му виду экономической деятельности, тыс.т у. т., (тыс. кВт·ч; тыс. Гкал);  $\text{В(ВДС)}_i^6$  – объем выпуска продукции (валовой добавленной стоимости) в  $i$ -м виде экономической деятельности, грн;

$\sum_{i=1}^{u=n} W_i^t$  – сумма потребности в энергии по всем видам экономической деятельности в  $t$ -м году, тыс.т у. т., (тыс. кВт·ч; тыс. Гкал.);  $\text{В(ВДС)}_i^t$  – объем выпуска продукции (валовой добавленной стоимости) для  $i$ -го вида экономической деятельности в  $t$ -м году, грн;  $n$  – количество видов экономической деятельности;

$\sum_{i=1}^{u=n} \mathcal{E}_i^t$  – суммарная прогнозируемая экономия электроэнергии по всем видам экономической деятельности в  $t$ -м году, тыс. кВт·ч;  $\mathcal{E}_i^t$  –

экономия электроэнергии в  $t$ -м году в  $i$ -м виде экономической деятельности, тыс. кВт·ч.

Прогноз объема потребления энергетических ресурсов в Украине вычисляется так:

$$W^t_{\text{пот}} = \sum_{i=1}^{u=n} W^t_i + W^t_{\text{нас}}, \text{ тыс.}, \quad (9.8)$$

$$W^t_{\text{нас}} = a^t \cdot \Psi^t 10^{-3}, \text{ кВт}\cdot\text{ч}, \quad (9.9)$$

где  $W^t_{\text{нас}}$  – объем потребления ТЭР населением в  $t$ -м году, тыс. кВт·ч, или, тыс.Гкал, тыс.т;  $a^t$  – прогнозные удельные расходы энергии на одного человека в  $t$ -м году, кВт·ч/чел. или, тыс.Гкал, тыс.т.;  $\Psi^t$  – численность населения Украины в  $t$ -м году.

**Третий сценарий:** *прогноз ожидаемого потребления энергоресурсов, выполняемый на основе удельных расходов электроэнергии на единицу каждого вида наиболее энергоемкой продукции.*

Потребность в энергии по данному виду экономической деятельности прогнозируется по такой формуле:

$$W^t_i = \left( \sum_{j=1}^{j=m} e^t_j \cdot B^t_j \right) (1 + k^t_j), \text{ тыс.т у.т., тыс. (кВт}\cdot\text{ч, тыс. Гкал)}, \quad (9.10)$$

где  $e^t_j$  – удельные расходы энергии на  $j$ -й вид продукции в  $t$ -м году, кг у.т., (кВт ч, млн кал) на единицу продукции;  $B^t_j$  – объем  $j$ -го вида продукции в  $t$ -м году в соответствующем измерении;  $m$  – количество видов продукции в  $t$ -м году;  $k^t_j$  – доля другого потребления энергии в объеме прогнозируемого объема расходов энергии.

Потребность в ТЭР в прогнозируемом году вычисляется по формуле (9.8).

Изложенные методические подходы обеспечивают оценку ожидаемого энергопотребления согласно темпам и структуре социально-экономического развития страны. При этом не раскрывается структура необходимых видов энергетических ресурсов. Для прогнозирования потребности в ТЭР по их видам используется характеристика структуры потребления энергоносителей в ретроспективном периоде по видам экономической деятельности и ожидаемое ее изменение в перспективе, а также коэффициентов теплоты

сгорания каждого вида энергоносителей при расчетах потребности в них в натуральном выражении. При этом потребность в основных видах ТЭР в ключевых энергоемких секторах определяется прямым расчетом в зависимости от объемов производства соответствующей продукции (отпуска электро- и теплоэнергии, производства чугуна и др.).

Векторы структуры потребления топлива по его видам характеризуются данными таблицы 9.3, а ожидаемое в перспективе потребление энергетических ресурсов по видам деятельности со структуризацией их по основным видам рассчитывается как произведение вектора графы потребления ТЭР по видам деятельности и матрицы удельного веса основных видов ТЭР (табл. 9.4).

Таблица 9.3

Удельный вес основных видов ТЭР, ожидаемый при намеченном производстве продукции (услуг) в разрезе видов экономической деятельности, %

Отрасль	Удельный вес отдельных видов ТЭР в общем их потреблении								
	Потребность, всего	Уголь и продукты его переработки				Природный газ	Нефтепродукты,		Другие виды топлива
		Всего	В том числе				всего	в том числе топочный мазут	
уголь	кокс		Коксо-вый газ						
Всё отрасли экономики Украины	100	$k_{уп}$	$k_u$	$k_k$	$k_{кг}$	$k_{рг}$	$k_{нр}$	$k_m$	$k_n$
Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство	100	$k_{уп}$	$k_u$	$k_k$	$k_{кг}$	$k_{рг}$	$k_{нр}$	$k_m$	$k_n$
Промышленность, всего									
Добывающая промышленность	100	$k_{уп}$	$k_u$	$k_k$	$k_{кг}$	$k_{рг}$	$k_{нр}$	$k_m$	$k_n$
Строительство	100	$k_{уп}$	$k_u$	$k_k$	$k_{кг}$	$k_{рг}$	$k_{нр}$	$k_m$	$k_n$
Транспорт, почта и связь	100	$k_{уп}$	$k_u$	$k_k$	$k_{кг}$	$k_{рг}$	$k_{нр}$	$k_m$	$k_n$
Другие виды деятельности	100	$k_{уп}$	$k_u$	$k_k$	$k_{кг}$	$k_{рг}$	$k_{нр}$	$k_m$	$k_n$
Жилищно-коммунальный сектор	100	$k_{уп}$	$k_u$	$k_k$	$k_{кг}$	$k_{рг}$	$k_{нр}$	$k_m$	$k_n$

Таблица 9.4

## Потребность экономики Украины в топливных ресурсах по их видам

	Условные обозначения: потребность, всего	Прогноз потребности в ТЭР в разрезе основных видов							
		Уголь и продукты его переработки				Природный газ	Нефтепродукты		Другие виды топлива
		Всего	в том числе				всего	в том числе топочный мазут	
			уголь	кокс	кокосовый газ				
Потребности по видам ТЭР	$P_j$	$P_{j\mu n} = P_j k_{\mu n}$	$P_{j\mu} = P_j k_{\mu}$	$P_{jk} = P_j k_k$	$P_{kg} = P_j k_{kg}$	$P_{j\text{pg}} = P_j k_{\text{pg}}$	$P_{j\text{np}} = P_j k_{\text{np}}$	$P_{jm} = P_j k_m$	$P_{jn} = P_j k_n$
Все отрасли экономики Украины	$P$	$P_{\mu n} = \sum_{j=1}^n P_{j\mu n}$	$P_{\mu} = \sum_{j=1}^n P_{j\mu}$	$P_k = \sum_{j=1}^n P_{jk}$	$P_{kg} = \sum_{j=1}^n P_{jkg} k_{kg}$	$P_{\text{pg}} = \sum_{j=1}^n P_{j\text{pg}}$	$P_{\text{np}} = \sum_{j=1}^n P_{j\text{np}}$	$P_m = \sum_{j=1}^n P_{jm}$	$P_n = \sum_{j=1}^n P_{jn} k_n$

Потребность в энергоресурсах по их видам в натуральном измерении прямо пропорциональна потребности в условном топливе ( $P$ ) и обратно пропорциональна коэффициенту теплоты сгорания ( $K$ ) соответствующего ( $\nu$ -го) вида энергоресурса рассчитывается по формуле:  $P_j^n = P_{j\nu} \cdot K_{\nu}^1$ .

## ГЛАВА 10

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОЖИДАЕМЫХ В ПЕРСПЕКТИВЕ МАСШТАБОВ СОБСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА (ДОБЫЧИ, ГЕНЕРАЦИИ) ТЭР

Объемы производства на предприятиях ТЭК определяются балансом производственных мощностей и уровнем их использования. Снижение производственного потенциала энергетики определяется изношенностью основных производственных фондов, а наращивание – реальными темпами наращивания отечественных и привлечением граничных инвестиций.

Структура наращивания мощностей по добыче, переработке топлива и генерации электроэнергии, а также производству теплоты осуществляется согласно приоритетам и направлениям государственной энергетической политики в прогнозном периоде. Прогноз производства ТЭР начинается с анализа состояния основных производственных фондов, оценки масштабов модернизации, реконструкции, и нового строительства (табл. 10.1).

Добыча нефти и газа в перспективном периоде оценивается в соответствии с темпами наращивания геологоразведочных работ, намеченных мероприятий по стабилизации, наращиванию и снижению добычи углеводных на действующих месторождениях.

Баланс установленных мощностей электростанций разрабатывается в целом по Украине по типам электростанций (ТЭС, ГЭС, АЭС) с возможным выделением их ведомственного подчинения. Производство электроэнергии рассчитывается на основе данных об установленной мощности и намеченного срока их использования (часов за год).

Необходимый объем производства электроэнергии в Украине в  $t$ -м году рассчитывается по формуле

$$W'_в = W'_{\text{пот}} + \Delta, \quad (10.1)$$

где  $\Delta$  – разность между экспортом и импортом электроэнергии, тыс.кВт ч.

## Динамика производственных мощностей

Показатели	Условные обозначения	Модели расчетов
Производственная мощность на начало прогнозного периода	$MH_t$	
Ввод мощностей (в среднем за год) В том числе за счет: • нового строительства • реконструкции и технического перевооружения	$\Delta M_t$ $\Delta MH_t$ $\Delta MP_t$	
Выбытие мощностей	$\Delta MЗ_t$	
Производственная мощность: • на конец периода • среднегодовая производственная мощность	$MK_g$ $MC_t$	$MC_t = MH_t + \Delta M_t - \Delta MЗ_t$
Производство: • коэффициент выполнения производственных мощностей	$\Pi_t$ $KM_t$	$\Pi_t = MC_t \cdot KM_t$
Капитальные вложения: • всего • новое строительство • реконструкция и техническое перевооружение	$K_t$ $K_n$ $K_{pt}$	$K_t = K_n + K_{pt}$ $K_n = P_n \cdot \Delta MH_t$ $K_{pt} = P_p \cdot \Delta MP_t$
Удельные расходы на новое строительство ( $P_n$ ), реконструкцию и техническое перевооружение ( $P_p$ )	$P_n, P_p$	принимаются по нормативам

Производство электроэнергии на атомных электростанциях рассчитывается по формуле

$$W_{\text{АЭС}} = N^{\text{ср},t}_{\text{АЭС}} \cdot \tau_{\text{АЭС}}^t, \text{ тыс. кВт}\cdot\text{ч}, \quad (10.2)$$

где  $N^{\text{ср},t}_{\text{АЭС}}$  – среднегодовая установленная мощность атомных электростанций в  $t$ -м году, тыс.кВт;  $\tau_{\text{АЭС}}^t$  – число часов использования среднегодовой установленной мощности.

Принимая во внимание то, что учет тепловых станций осуществляется по замыкающему принципу, расчет их мощностей и объемов производства осуществляется после базовых электростанций – атомных и гидростанций.



$N^{ср, t}$  атомных электростанций в  $t$ -м году рассчитывается по формуле:

$$N^{ср, t}_{АЭС} = N^6_{АЭС} + N^{ввод}_{АЭС} - N^{вывод}_{АЭС} + \alpha N^{ввод, t}_{АЭС} - \beta N^{вывод, t}_{АЭС}, \quad (10.3)$$

где  $N^6_{АЭС}$  – мощность АЭС в базовом году, тыс.кВт;  $N^{ввод}_{АЭС}$  – ввод мощностей на АЭС к  $t$ -му году, тыс.кВт;  $N^{вывод}_{АЭС}$  – вывод мощностей на АЭС к  $t$ -му году, тыс.кВт;  $N^{ввод, t}_{АЭС}$  – ввод мощностей на АЭС в  $t$ -м году, тыс.кВт;  $N^{вывод, t}_{АЭС}$  – вывод мощностей на АЭС в  $t$ -м году, тыс.кВт;  $\alpha, \beta$  – коэффициенты, которые учитывают использование введенных и выведенных мощностей АЭС в  $t$ -м году.

Производство электроэнергии на ГЭС, ГАЭС, электростанциях с использованием нетрадиционных и возобновляемых источников энергии определяется по формуле (10.3), только вместо АЭС подставляются индексы соответствующих типов электростанций.

## ГЛАВА 11

---

# РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ БАЛАНСОВ

---

### 11.1. Основные исходные положения по разработке энергетических балансов, формирование отдельных их статей и формы представления результатов

Топливо-энергетический баланс страны комплексно характеризует воспроизводство топливо-энергетических ресурсов (ТЭР) и определяет соответствие между их объемами, которые формируются по источникам поступления (в том числе за счет собственного производства, включая привлечение возобновляемых энергоносителей и нетрадиционных источников, и импорта), и спросом по направлениям использования в экономике, а также экспортом избыточной части энергоносителей.

Топливо-энергетический баланс имеет две части – ресурсную (предложение) и распределительную (спрос), которые составляются на основе отдельных статей, методика расчета и информационное обеспечение которых имеет отличительные особенности, присущие отдельным видам продукции.

*Ресурсная часть ТЭБ (предложение)* характеризуется поступлением первичных ТЭР, которые включают в себя добычу основных видов топлива, производство первичной электроэнергии (отдельно на гидро- и атомных электростанциях), импорт энергетической продукции, другие поступления, остатки энергоресурсов к началу года.

*В затратную часть ТЭБ (спрос)* входит потребность (потребление) первичных ТЭР на производство электроэнергии, теплоэнергии, сжатого воздуха, доменного дутья, на производственно-технологические нужды (включая потери при хранении, транспортировке, обогащении и др.), на вывоз (включая экспорт продукции), а также остатки ТЭР на конец года у потребителей и поставщиков энергоресурсов.

Структура сводного энергетического баланса, который разрабатывается по методологии МАЭ, представлена тремя разделами: формирование энергетических ресурсов, в том числе внутреннее

производство; переработка энергетических ресурсов; общее конечное потребление энергетических ресурсов [71].

Разработке сводного энергетического баланса предшествует составление балансов по отдельным видам в натуральном выражении. При составлении сводного энергетического баланса предусмотрено, что объемы топлива и энергии записываются как в натуральном, так и в условном исчислении.

Для определения общего объема добычи (производства) и потребления топлива, а также удельного веса отдельных видов топлива в общем объеме, все виды топлива пересчитываются в условное топливо (7000 ккал/кг).

Данные о добыче угля приводятся по объему угля, перечисленному на товарную добычу угля.

В данные о добыче нефти включается газовый конденсат.

В общий итог добычи природного газа включается попутный газ нефтяных месторождений. Данные о добыче газа приводятся к условиям 20°C и 760 мм ртутного столба.

Данные о добыче топливного торфа приводятся в перерасчете на условную влажность: кусковой торф – на 33%-ю, фрезерный – на 40%-ю влажность.

Данные о производстве торфяных брикетов и полубрикетов приводятся в перерасчете на условную влажность.

Электроэнергия, теплоэнергия (пар, горячая вода), выработанные электрическими или тепловыми станциями, котельными или другими установками, использующими топливо, пересчитываются в условное топливо по фактическим удельным расходам топлива на их отпуск в соответствующем периоде.

Ядерная энергия, гидроэнергия, геотермальная энергия, энергия солнечной радиации, энергия ветра, энергия морских приливов и отливов, энергия других нетрадиционных источников учитывается в балансе по объемам выработанной на их базе электроэнергии и теплоэнергии и пересчитывается в условное топливо по средним фактическим удельным расходам топлива на отпуск электро- и теплоэнергии электрическими и тепловыми станциями, работающими на топливе. По методологии МАЭ пересчет в условное топливо электроэнергии, выработанной на АЭС, осуществляется из расчета среднего термического коэффициента КПД – 33%.

В статье баланса “Другие поступления из других источников” учитывается производство других природных видов топлива (отходы

лесозаготовок, деревообработки, сельскохозяйственного производства, производство газа подземной газификации угля и другие, используемые как котельно-печное топливо), а также местные топливно-энергетические ресурсы, которые не учитываются при разработке ТЭБ Украины.

Статья баланса “Импорт, всего” состоит из поступления ТЭР непосредственно из-за пределов Украины.

В остатки топлива на начало и конец года включаются остатки природных видов топлива и продуктов его переработки (как у поставщиков, так и у потребителей), которые находятся на всех общезаводских, промежуточных, цеховых складах, в резервуарах, на строительных площадках, в трубопроводах, причем без учета остатков топлива, отложенных в госрезерв и мобилизационный запас. В остатки на начало и конец года включаются также остатки нефти (включая газовый конденсат) в трубопроводах. Отдельной составляющей запасов является их доля – объем природного газа, который находится (закачивается) в подземных газохранилищах.

В расход топлива и энергии на превращение в другие виды энергии включается: электро- и теплоэнергия, сжатый воздух, доменное дутье (в отдельных случаях объединяется со статьей “Потребление природных энергетических ресурсов” – об объемах потребления гидроэнергии, атомной, геотермальной и других нетрадиционных источников энергии), а также данные сальдового поступления электроэнергии со стороны или отпуска ее на сторону, пересчитанные в условное топливо по фактическому удельному расходу топлива на их отпуск.

Данные о расходах топлива и энергии на производственно-технологические нужды включают в себя непосредственные расходы ТЭР в качестве топлива и энергии, расход топлива в качестве сырья на производство химической, нефтехимической и другой нетопливной продукции, в качестве материала на нетопливные нужды, а также потери топлива при переработке, хранении и транспортировке.

К потерям топлива и энергии при хранении и транспортировке относятся все виды потерь и недостатки у потребителей и поставщиков, оформленные соответствующими актами, потери вследствие сжигания в факелах газа нефтепереработки (на нефтеперерабатывающих предприятиях), выброс в атмосферу доменного и коксового газа (на металлургических и коксохимических предприятиях), а также потери электроэнергии и теплоэнергии в сетях общего пользования.

На перспективный период принимается на уровне нормативных значений.

Непосредственные расходы топлива и энергии (конечный расход) – это использование топлива и энергии в промышленных и других печах, технологических установках без предварительного преобразования их в какой-нибудь другой вид энергии.

В объем непосредственного расхода топлива и энергии на выпуск промышленной продукции, по отдельным отраслям промышленности (видам деятельности), включается непосредственный расход каждого вида топлива и энергии на нужды, связанные с производством промышленной продукции, независимо от того, какое предприятие (промышленное, строительное, транспортное, сельскохозяйственное, коммунальное и др.) выпускает данную продукцию.

В объем непосредственного расхода топлива и энергии на собственные производственные нужды предприятий, вырабатывающих продукцию электроэнергетики и топливной промышленности, включены расходы отдельных видов топлива и энергии, которые связаны с:

- добычей природных видов топлива;
- производством электроэнергии, теплоэнергии и сжатого воздуха (атомными и гидроэлектростанциями, тепловыми электростанциями и другими, а также всеми котельными);
- производством продуктов переработки природных видов топлива (нефтеперерабатывающими, газоперерабатывающими, коксогазовыми и коксохимическими, брикетными и другими предприятиями).

Статья “Экспорт, всего” состоит из объемов вывоза ТЭР непосредственно за пределы Украины.

В данные об экспорте включается вывоз топлива отечественного производства и реэкспорт топлива, а также отпуск электроэнергии (сальдовый) за пределы Украины, пересчитанный в условное топливо по средним фактическим удельным расходам топлива на ее отпуск.

К реэкспорту относится: топливо, ввезенное в Украину, а затем вывезенное за границу; топливо, закупленное за границей и проданное непосредственно в третьи страны.

Импорт и экспорт энергоресурсов оцениваются по фактическому пересечению топлива и электроэнергии таможенной границы с учетом реэкспорта.

Данные о потреблении топливно-энергетических ресурсов в

стране (регионе) определяется как разница между данными статьи “Предложение, всего” минус данные статей “Остатки у поставщиков и потребителей на конец года” и “Экспорт”.

Потребность (потребление) в топливно-энергетических ресурсах страны (региона) на перспективу может быть определена методом прямых нормативных расчетов, исходя из объемов производства продукции (работ, услуг) и перспективных норм расхода энергоносителей с учетом внедрения энергосберегающих мероприятий (глава 9).

Реальные возможности покрытия этой потребности определяются за счет всех источников: собственного потенциала, привлечения других источников, включая возобновляемые и нетрадиционные источники и виды топлива, а также их межрегионального ввоза (импортирования). Потенциал добычи, переработки и генерации ТЭР на отечественных предприятиях определяются балансом производственных мощностей и уровнем их использования. Возможное снижение использования производственного потенциала энергетики объясняется изношенностью основного потенциала, а ожидаемое наращивание – реальными темпами привлечения отечественных и иностранных инвестиций.

Структура наращивания мощностей по добыче, переработке и генерации электроэнергии и производства теплотенергии осуществляется согласно приоритетам и основным направлениям энергетической политики в прогнозном периоде. Прогноз производства ТЭР осуществляется на основе динамики производственных мощностей и коэффициентов их использования в прогнозном периоде.

Спрогнозированный спрос и предложение энергоресурсов является базой для разработки топливно-энергетических балансов Украины по видам энергоносителей и сводного топливно-энергетического баланса.

Разработку перспективных ТЭБ целесообразно осуществлять на альтернативной основе (сценариях) с целью определения рациональных топливно-энергетических балансов, формирования и распределения топливно-энергетических ресурсов. Генерация альтернативных вариантов (сценариев) разрабатывается с целью исследовать решения в новых условиях энергообеспечения. Основанием для разработки новых сценариев составления ТЭБ балансов является: выработка новых предложений по изменению источников формирования ТЭР

или покрытия потребности в них; замена отдельных видов энергетических ресурсов и др. Критерием рациональности выбора варианта может служить: оптимизация уровня энергоемкости ВВП (ВДС, выпуск продукции) в натуральном или стоимостном выражении при достижении полного удовлетворения потребности экономики и социальной сферы в ТЭР.

*Функциональная структура сводного энергетического баланса и частных топливно-энергетических ресурсов состоит из моделей определения их ресурсов (по источникам формирования: производства и добычи первичных природных ресурсов, привлечения дополнительных источников – попутного газа, нетрадиционных природных энергетических ресурсов, их импорта и поступлений из других источников и остатков у поставщиков и потребителей) и моделей распределения (в соответствии с определенными потребностями в ТЭР) по направлениям: потребление ТЭР в стране (на превращение в другие виды энергии, топливо и на производственно-технологические нужды), конечное потребление, резервы, вывоз (включая экспорт) и остатки на конец года у потребителей и поставщиков ТЭР.*

Конкретные модели формирования частных ТЭБ учитывают особенности соответствующих ресурсов. Например, баланс формирования и распределения угля учитывает требования к нормативному уровню содержания золы в товарном угле и технологические расходы при его обогащении, объемы присадки связующих ингредиентов при брикетировании и возврат брикетной крошки.

При формировании показателей баланса природного газа учитываются технологические требования к созданию его запасов в подземных газохранилищах и механизму использования этого газа как дополнительного источника формирования ресурсов.

Сводный ТЭБ рассчитывается в натуральных и условных единицах измерения (тоннах условного топлива). Перерасчет каждого вида в натуральном выражении в условное топливо осуществлен на основе сравнения теплообразовательной способности каждого вида топлива к теплотворной способности одной тонны условного топлива. Адекватность единицы измерения каждого вида топлива в условном выражении обеспечивается соответствующим коэффициентом эквивалентности.

Макет формы сводного ТЭБ представлен в табл. 11.1.

Таблица 11.1

**Сводный энергетический баланс  
(Макет сводного прогнозного ТЭБ)**

Статья баланса	Единица измерения	2000г. (Отчет)- базовый период	Прогноз	
			2005	2010
ПРЕДЛОЖЕНИЕ, всего	тыс. т у.т.			
<i>Добыча природного топлива в регионе, всего</i>	тыс. т у.т.			
В том числе: Уголь	тыс. т тыс. т у.т.			
Нефть, включая газовый конденсат	тыс. т тыс. т у.т.			
Природный газ, включая попутный газ	млн м <sup>3</sup> тыс. т у.т.			
Торф топливный	тыс. т тыс. т у.т.			
Дрова	тыс. пл. м <sup>3</sup> тыс. т у.т.			
Местные топливно-энергетические ресурсы и нетрадиционные виды и источники энергии	тыс. т у.т.			
<i>Производство природных энергетических ресурсов в регионе, всего</i>	тыс. т у.т.			
В том числе: Традиционные природные энергетические ресурсы, всего	тыс. т у.т.			
в том числе:				
Атомная энергия, всего	тыс. т у.т.			
В том числе: производство электроэнергии на АЭС производство теплоты на АЭС	млн кВт·ч тыс. т у.т. тыс. Гкал тыс. т у.т.			
Гидроэнергия – всего	тыс. т у.т.			
В том числе: производство электроэнергии на ГЭС и ГАЭС	млн кВт·ч тыс. т у.т.			
Нетрадиционные природные энергетические ресурсы, всего	тыс. т у.т.			



В том числе: производство электроэнергии нетрадиционными источниками энергии	млн кВт·ч тыс. т у.т.			
производство теплоэнергии нетрадиционными источниками энергии	тыс. Гкал тыс. т у.т.			
<i>Другие поступления из других источников региона</i>	тыс. т у.т.			
<i>Ввоз, всего</i>	тыс. т у.т.			
В том числе:				
межрегиональный	тыс. т у.т.			
импорт	тыс. т у.т.			
<i>Остатки у поставщиков и потребителей к началу года</i>	тыс. т у.т.			
СПРОС, всего	тыс. т у.т.			
<i>Потребление в регионе - всего</i>	тыс. т у.т.			
В том числе:				
на превращение в другие виды энергии: электро- и теплоэнер- гию, сжатый воздух и доменное дутье	тыс. т у.т.			
на производственно-техноло- гические нужды (включая потери при хранении и транспортировке, другие статьи распределения)	тыс. т у.т.			
<i>Вывоз, всего</i>	тыс. т у.т.			
В том числе:				
межрегиональный	тыс. т у.т.			
экспорт	тыс. т у.т.			
<i>Остатки у поставщиков и потребителей на конец года</i>	тыс. т у.т.			

## 11.2. Схема комплексного определения основных показателей перспективных ТЭБ

Перспективные балансы топливно-энергетических ресурсов разрабатываются как сложный комплекс взаимосвязанных процессов из последовательно осуществляемых прогнозов параметров формирования всей гаммы топливно-энергетических ресурсов и их распределения по секторам экономики и социальной сферы в соответствии с масштабами и тенденциями социально-эконо-

мического развития страны на соответствующий срок. Ресурсную базу ТЭБ определяет наличие запасов природных ТЭР, уровень их геологической разведанности, готовность действующего производственного потенциала к производству (переработке) этих ресурсов.

Схема разработки перспективных балансов сводится к реализации следующих этапов.

В зависимости от тенденций динамики уровня обеспечения экономики ТЭР и эффективности их использования осуществляется оценка потребности страны в энергетических ресурсах на перспективу. Как интегральный показатель эффективности энергетических ресурсов используется ключевой макроэкономический показатель – энергоёмкость ВВП (продукции) в базовом периоде. Его оценка за ретроспективу служит (с учетом повышения использования ТЭР и внедрения новых энергосберегающих технологий) нормативной основой для определения рамочных масштабов потребности в энергетических ресурсах для обеспечения устойчивого социально-экономического развития страны на перспективу.

Следующим этапом разработки показателей перспективных ТЭБ является определение динамики факторов, влияющих на объемы потребления ТЭР в прогнозном периоде. Ключевыми факторами динамики энергопотребления являются темпы роста основных энергоёмких производств реального сектора экономики и социальной сферы, задания по экономии энергетических ресурсов (включая реструктуризацию энергоёмких отраслей), инвестиционная привлекательность энергетики и др.

Исследование путей повышения эффективности энергопотребления включает в себя широкий круг вопросов по экономии топливно-энергетических ресурсов за счет осуществления соответствующих мероприятий в отраслях (секторах) экономики и реализации межотраслевых комплексных проектов (внедрение контрольно-измерительных приборов, реструктуризация энергоёмких отраслей и производств и других комплексных проектов).

Определение тенденций в динамике потребления ТЭР в экономике и социальной сфере на перспективу выполняется с учетом осуществления мероприятий по энергосбережению.

Для обеспечения намеченного сценарием социально-экономического развития уровня энергоёмкости предусматривается проверка соответствия получаемых их расчетов (как критерия повышения

результативности энергопотребления).

В условиях, когда по определенному объему экономии энерго-ресурсов не достигается предусмотренный в перспективе уровень энергоемкости, план мероприятий по экономии ТЭР пересматривается с целью дальнейшего уменьшения потребления топливно-энергетических ресурсов или уточняются альтернативы социально-экономического развития страны в прогнозном периоде.

На этом этапе определяется потребность в топливно-энергетических ресурсах (на первые пять – десять лет по прогнозным удельным расходам по наиболее энергоемким производствам и процессам, а на дальнейшую перспективу – по энергоемкости ВВП). При этом в период до 20 лет прогноз потребности в основных видах ТЭР выполняется с дифференциацией по областям экономики и ключевым областям промышленности.

Для оценки реальности обеспечения ТЭР принятого (по разработанному сценарию) варианта социально-экономического развития изучается состояние и прогнозируется альтернатива развития потенциала по добыче (производству) топливно-энергетических ресурсов в рассматриваемой перспективе, оцениваются реальные объемы их импорта и определяется возможная диверсификация источников и видов топлива и энергии. На этом этапе уточняются такие показатели-индикаторы достижения приемлемого уровня производства энергоресурсов, как уровень обеспечения разведанными запасами добычи и переработки нефти, природного газа и угля, наращивание (реабилитация) мощностей относительно производства электро- и теплоэнергии (традиционными и нетрадиционными способами). На этом этапе учитываются только реальные масштабы привлечения в экономический оборот объемов местных ресурсов в прогнозный период.

Расчеты объемов выполняются в натуральном и условном выражении (в соответствии с теплотворной способностью) энергетических ресурсов за счет использования всех источников, включая импорт.

Осуществляется формирование показателей использования всех энергетических ресурсов на превращение в другие виды энергии, конечное потребление, а также распределение по другим направлениям, включая их экспорт ТЭР.

Комплексная разработка системы балансов формирования и распределения топливно-энергетических ресурсов с определением

показателей сводного топливно-энергетического баланса включает в себя последовательно выполняемые процессы:

- разработка (в условном выражении) частных ТЭБ.
- исследование альтернативных (с целью определения рациональных) топливно-энергетических балансов формирования и распределения топливно-энергетических ресурсов.
- генерация альтернативных вариантов осуществляется с целью их исследования на предмет допустимости по выбранным ограничениям и критериям рациональности.

При необходимости продолжается разработка новых сценариев составления ТЭБ и последующее их исследование вплоть до решения о целесообразности пересмотра и перераспределения инвестиций и других ресурсов между секторами экономики и ТЕК.

Прогнозно-аналитические расчеты формирования ТЭБ продолжают до получения такого варианта энергообеспечения экономики и социальной сферы, при котором достигается рациональная энергоемкость ВВП в натуральном или стоимостном выражении, соблюдаются реально возможные ограничения по уровню экологической нагрузки предприятий энергетики и обеспечивается рост энергетической безопасности страны.

Учитывая высокую трудоемкость разработки перспективных ТЭБ и ограниченные возможности комплексной формализации всех этапов, на первой стадии выполнения этих работ автоматизированы с помощью современных ПВМ отдельные процессы, в том числе заключительные процессы комплексной разработки ТЭБ на перспективу.

Разработанная модель комплексного формирования перспективных балансов позволяет в интерактивном режиме осуществлять расчеты перспективных ТЭБ при условиях внесения корректив в исходные (переменные) параметры каждого из составляющих этой системы балансов. На основе внесенных изменений пересчитываются показатели частных (по видам энергоресурсов) и сводного перспективного топливно-энергетического балансов.

Конкретные модели формирования видовых ТЭР учитывают особенности соответствующих ресурсов.

Сводный ТЭБ рассчитывается в натуральных и условных единицах измерения (тоннах условного топлива).

Все процедуры формирования частных и сводного балансов формализованы с помощью машинного алгоритма, реализованного в

среде “Excel” на компьютере.

Разработанные программные средства обеспечивают интерактивный режим вариантных расчетов формирования перспективных топливно-энергетических балансов страны по выбранному пользователем сценарию.

При этом внесение изменений в параметры отдельных балансов мгновенно отображается на итоговых (связанных со скорректированным параметром) показателях и на сводном ТЭБ в целом.

С помощью разработанных средств проводится комплекс расчетов перспективных топливно-энергетических балансов, альтернативы формирования ресурсной части которых определяются по разработанным сценариям.

### **11.3. Разработка сводного топливно-энергетического баланса и балансов по видам ТЭР**

Разработке перспективных балансов предшествует осуществление комплекса аналитических разработок и прогнозов. Прежде всего, охарактеризовать тенденции динамики уровня обеспечения экономики ТЭР и эффективности их использования в отчетном периоде и оценку потребности страны в энергетических ресурсах на перспективу.

В последние годы наблюдается тенденция к стабилизации и даже более полному покрытию потребности в энергетических ресурсах за счет их добычи (переработки) на отечественных предприятиях – от 48,6 в 1995 г. до 59,3% в 2000 г. При этом удельный вес импорта в общем объеме топливно-энергетических ресурсов Украины в этот период адекватно уменьшался: от 47,4 в 1995 г. до 41,1% в 2000 г. Часть топливно-энергетических ресурсов экспортировалась – от 1,7 до 4,9% от задействованных в экономическом обороте энергетических ресурсов. Динамика формирования и использования топливно-энергетических ресурсов и уровень покрытия потребности в основных энергетических ресурсах за счет собственного производства характеризуется данными табл. 11.2, 11.3.

Сводный топливно-энергетический баланс является итоговым балансом первичных ТЭР энергетических .

Таблица 11.2  
Баланс формирования и использования основных топливно-энергетических ресурсов в Украине в 1990, 1995–2002 гг.

Статья баланса	Единицы измерения	1990	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
<i>Объем ТЭР, всего</i>	млн т у.т.	446,2	257,0	236,3	237,6	220,3	219,9	214,0	219,6	229,7
Добыча природного топлива	млн т у.т.	139,3	83,6	70,9	79,0	77,3	80,3	80,4	81,7	81,8
В том числе:	млн т	164,8	83,5	72,4	76,3	83,9	82,5	82,0	83,4	82,5
Уголь	млн т у.т.	97,4	49,3	42,2	45,0	43,8	46,9	46,9	48,1	47,8
Нефть	млн т	5,3	4,2	4,0	4,1	3,9	3,8	4,0	3,7	3,7
	млн т у.т.	7,5	6,0	5,8	5,9	5,6	5,4	5,3	5,2	5,3
Природный газ	млрд м <sup>3</sup>	28,1	18,1	18,2	18,1	17,9	18,1	18,0	18,4	18,7
	млн т у.т.	32,3	20,9	21,0	20,9	20,6	20,8	20,7	21,0	21,1
Торф топливный	млн т	2,0	1,0	0,7	0,6	0,6	0,6	1,0	0,3	0,5
	млн т у.т.	0,7	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,1	0,2
Дрова топливные	млн пл. м <sup>3</sup>	2,8	2,3	2,1	2,2	2,5	2,3	2,6	2,7	2,6
	млн т у.т.	0,7	0,6	0,6	0,6	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7
Другие виды топлива	млн т у.т.	0,7	6,5	1,1	6,4	6,4	6,4	6,5	6,6	6,7
Производство природных энергетических ресурсов, всего	млн т у.т.	28,5	26,2	30,6	31,2	31,9	30,7	31,3	30,2	29,9
Традиционные природные энергетические ресурсы, всего.	млн т у.т.	28,5	26,2	30,6	31,2	31,9	30,7	31,3	30,2	29,9
В том числе:										
Атомная энергия, всего	млн т у.т.	24,8	22,5	27,4	27,6	26,1	25,3	27,1	25,9	26,5

В том числе: Производство электроэнергии на АЭС .Производство теплоэнергии на АЭС.	млрд кВт·ч.	76,2	70,5	79,6	79,4	75,2	72,1	77,3	76,2	78,0
	млн т у.т.	24,6	22,2	27,1	27,3	25,8	25,1	26,8	25,7	26,3
Гидроэнергия. в том числе: Производство электроэнергии на ГЭС-ГАЭС.	млн т у.т.	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2
	млн т у.т.	3,7	3,7	3,2	3,6	5,8	5,4	4,2	4,3	3,4
Нетрадиционные природные энергетические ресурсы. Другие поступления из других источников ТЭР страны.	млрд кВт·ч.	10,7	10,1	8,8	10,0	15,9	14,4	11,4	12,1	9,7
	млн т у.т.	3,7	3,7	3,2	3,6	5,8	5,4	4,2	4,3	3,4
Вторичные горючие энергоресурсы (доменный, феросплавный, конверторный и другие горючие газы).	млн т у.т.							0,1	0,1	0,1
	млн т у.т.	4,9	1,9	2,1	1,5	1,3	0,8	0,1		
Отбор природного газа с ПСТ	млрд м <sup>3</sup>	20,3	7,9	7,7	8,4	7,8	1,4	1,3	4,0	6,7
	млн т у.т.	23,3	9,2	8,8	9,6	9,0	1,6	1,5	3,5	7,7
Импорт ТЭР – всего в том числе: Уголь	млн т у.т.	211,4	121,7	109,2	99,0	88,3	93,2	88,0	92,5	98,3
	млн т	21,2	16,4	12,9	9,0	8,2	5,5	7,1	7,2	6,1
Нефть	млн т у.т.	14,5	11,5	7,4	6,3	5,7	3,8	4,9	5,0	4,2
	млн т	54,5	13,3	9,3	8,9	9,9	9,4	5,9	13,4	18,8
	млн т у.т.	78,0	19,0	13,4	12,7	14,1	13,4	8,5	19,3	27,0

Природный газ	млн т	88,3	68,3	67,4	62,3	53,5	59,9	59,2	56,9	56,2
Нефтепродукты	млн т у.т.	71,1	76,2	77,5	71,7	61,5	68,9	68,1	65,5	64,6
в том числе:	млн т у.т.	14,6	13,1	10,9	8,3	6,9	6,9	6,5	2,7	2,5
Топочный мазут	млн т	5,5	2,2	0,4	0,3	0,5	0,5	0,2	0,3	0,5
	млн т у.т.	7,4	3,0	0,5	0,4	0,7	0,7	0,3	0,4	0,7
	млн т	2,1	2,6	2,6	2,7	2,1	1,7	1,8	1,6	1,8
Автомобин	млн т у.т.	3,2	3,8	3,8	4,0	3,1	2,5	2,7	2,3	2,7
Дизельное топливо	млн т	2,8	2,8	2,7	2,3	1,8	2,4	2,2	2,3	2,4
	млн т у.т.	4,0	4,0	3,9	3,3	2,6	3,5	3,4	3,3	3,5
Другие ГЭР	млн т у.т.	1,9	1,9	0,0	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0
Остатки к началу года	млн т у.т.	26,4	9,2	9,0	11,6	6,7	7,5	6,7	6,0	6,1
Распределение ГЭР, всего	млн т у.т.	446,2	257,0	236,3	237,6	220,3	219,9	214,0	219,6	229,7
<b>Потребление в Украине, всего</b>	млн т у.т.	353,0	225,9	211,7	213,3	203,4	200,1	188,0	187,7	186,3
Из общего объема ГЭР:	млн т	124,6	75,0	60,2	62,1	65,4	65,7	64,5	64,2	62,9
Уголь	млн т у.т.	97,2	57,4	45,8	50,2	48,2	49,2	47,8	49,2	48,1
	млн т	118,7	85,2	80,5	81,3	75,2	75,5	68,4	65,8	65,5
Природный газ	млн т у.т.	136,5	98,0	92,6	93,5	86,5	86,8	78,7	73,7	75,4
	млн т	22,5	7,8	5,2	3,8	3,5	2,1	1,2	1,2	1,1
Топочный мазут.	млн т у.т.	30,8	10,8	7,1	5,2	4,8	2,9	2,9	2,9	2,6
	млн т	10,1	5,0	3,6	5,4	5,3	3,8	2,9	3,2	3,5
Автомобин	млн т у.т.	15,0	7,4	5,3	8,1	7,8	5,7	4,4	4,8	5,2
	млн т	14,8	8,4	6,3	6,3	6,1	5,2	4,8	4,9	5,0
Дизельное топливо	млн т у.т.	21,4	12,4	9,2	9,2	8,8	7,5	7,2	7,0	7,2



Из общего объема потребления ТЭР																			
На энергетические цели, всего.	млн т у.т.	340,7	216,5	202,4	204,3	195,3	191,1	178,9	178,5	177,2									
На преобразование в другие виды энергии	млн т у.т.	166,5	108,3	108,6	100,0	94,2	94,0	100,1	104,1	104,4									
Топливо	млн т у.т.	138,0	82,1	78,0	68,8	62,3	63,3	70,7	73,8	74,5									
Природные энергетические ресурсы, всего	млн т у.т.	28,5	26,2	30,6	31,2	31,9	30,7	29,4	30,2	29,9									
На непосредственное использование, как топливо	млн т у.т.	170,3	104,2	89,7	100,1	97,0	93,1	74,6	70,4	68,7									
Потери при переработке в другие виды топлива и транспортировке	млн т у.т.	3,9	4,0	4,1	4,2	4,1	4,0	4,2	4,0	4,1									
Топливо как сырье	млн т у.т.	12,3	9,4	9,3	9,0	8,1	9,0	9,1	9,2	9,1									
Другие статьи распределения	млн т у.т.	4,3	0,8	3,0	2,8	-	-	-	2,5	2,1									
Потери топлива при обогащении и брикетировании	млн т у.т.	1,5	1	1	1,0	0,7	0,9	0,4	0,8	0,9									
Другое использование ТЭР на неэнергетические цели	млн т у.т.	8,6	3,8		1,9	1,7	1,1	0,8											
Закачка природного газа к ПГХ	млрд м <sup>3</sup>	17,9	7,1	9,6	5,5	3,5	2,4	9,5	7,4	13,7									
	млн т у.т.	20,6	8,2	11,0	6,7	4,0	2,8	8,3	8,5	15,8									
	млн т у.т.	35,8	4,4	3,2	5,1	4,7	8,3	10,5	14,0	18,5									
Экспорт	млн т у.т.	22,4	12,9	6,4	6,8	5,8	6,7	6,0	6,1	6,1									
Остатки ТЭР у потребителей и поставщиков на конец года, потери и прочее	млн т у.т.																		

Динамика формирования и использования основных топливно-энергетических ресурсов в Украине  
в 1990, 1995-2002 годах, в % к параметрам 1990 года

Статья баланса	1990	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Объем ТЭР, всего	100,0	57,60	52,96	53,25	49,37	48,16	47,96	49,22	51,48
Добыча природного топлива	100,0	60,01	50,90	56,71	55,49	57,65	57,57	58,65	58,72
В том числе:									
Уголь	100,0	50,62	43,33	46,20	44,97	48,15	48,15	49,38	49,08
Нефть	100,0	80,00	77,33	78,67	74,67	72,00	70,67	69,33	70,67
Природный газ	100,0	64,71	65,02	64,71	63,78	64,40	64,09	65,02	65,33
Производство природных энергетических ресурсов, всего	100,0	91,93	107,37	109,47	111,93	107,72	109,82	105,96	104,91
в том числе:									
Атомная энергия, всего	100,0	90,73	110,48	111,29	105,24	102,02	109,27	104,44	106,85
Гидроэнергия:	100,0	100,00	86,49	97,30	156,76	145,95	113,51	116,22	91,89
Вторичные горючие энерго-ресурсы (доменный, ферросплав-ный, конверторный и другие горючие газы	100,0	42,62	46,72	47,54	47,54	47,54	48,36	46,72	47,54
Импорт ТЭР – всего	100,0	57,57	51,66	46,83	41,77	44,09	41,63	43,76	46,50
В том числе:									
Уголь	100,0	79,31	51,03	43,45	39,31	26,21	33,79	34,48	28,97
Нефть	100,0	24,36	17,18	16,28	18,08	17,18	10,90	24,74	34,62

Природный газ	100,0	107,17	109,00	100,84	86,50	96,91	95,78	92,12	90,86
Нефтепродукты	100,0	89,73	74,66	56,85	47,26	47,26	44,52	18,49	17,12
В том числе:									
Топочный мазут	100,0	40,54	6,76	5,41	9,46	9,46	4,05	5,41	9,46
Автомобин	100,0	118,75	118,75	125,00	96,88	78,13	84,38	71,88	84,38
Дизельное топливо	100,0	100,00	97,50	82,50	65,00	87,50	85,00	82,50	87,50
<i>Потребление в Украине, всего</i>	100,0	63,99	59,97	60,42	58,10	56,69	53,26	53,17	52,78
Из общего объема ТЭР.:									
Уголь	100,0	59,05	47,12	51,65	49,59	50,62	49,18	50,62	49,49
Природный газ	100,0	71,79	67,84	68,50	63,37	63,59	57,66	53,99	55,24
Топочный мазут.	100,0	35,06	23,05	16,88	15,58	9,42	9,42	9,42	8,44
Автомобин	100,0	49,33	35,33	54,00	52,00	38,00	29,33	32,00	34,67
Дизельное топливо	100,0	57,94	42,99	42,99	41,12	35,05	33,64	32,71	33,64
На энергетические цели, всего.	100,0	63,55	59,41	59,96	57,32	56,09	57,94	52,39	52,01
На преобразование в другие виды энергии	100,0	65,05	65,23	60,06	56,58	56,46	60,12	62,52	62,70

Рассмотренные положения формирования показателей перспективных ТЭБ базируются на традиционных подходах. Методология МАЭ (Международного агентства по энергетике) относительно составления энергетического баланса страны имеет определенную специфику как относительно формы, так и содержания расчета ее показателей. Основные положения составления сводного энергетического баланса по этим рекомендациям приведены в [71].

## ГЛАВА 12

---

### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ ТЭК НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

---

Энергетика страны является одним из основных источников загрязнения окружающей среды. Загрязнение окружающей среды топливно-энергетическим комплексом Украины в перспективе будет существенным образом зависеть от реализации избранной стратегии развития ТЭК и от динамики ряда объективных экономических, производственно-технологических, организационно-управленческих и юридически-правовых факторов, которые ее определяют.

*К основным экономическим факторам* низкого уровня экологичности предприятий ТЭК и неудовлетворительного технического состояния их природоохранных сооружений относятся регулярное недофинансирование природоохранной деятельности всех отраслей комплекса, а также отсутствие действующих механизмов стимулирования осуществления природоохранных мероприятий. По некоторым оценкам, оптимальный уровень таких средств составляет 6–8% всех затрат на развитие отдельной отрасли, а минимально допустимый, не ведущий еще к ускоренной деградации окружающей среды, – не менее 3% этих затрат, тогда как реальный их объем и в прошлом, и в настоящее время значительно ниже указанных уровней. К экономическим факторам относится также недостаток средств на внедрение современных экологически эффективных технологий добычи, подготовки и использования топливно-энергетических ресурсов, а также на повышение энергоэффективности основных энергоемких отраслей и широкое внедрение энергосберегающих технологий.

*Главными производственно-технологическими факторами* низкой экологичности предприятий ТЭК являются: устарелость и значительная изношенность (до 70–75%) основного технологического оборудования; низкая эффективность, изношенность, а иногда и полное отсутствие необходимых газоочистительных сооружений (особенно серо- и азотоочистки); применение на многих ТЭС несовершенных технологий сжигания энергетического топлива и

вынужденное использование их котлоагрегатами высокозольного угля ухудшенного качества. Применение устаревших технологий нефтепереработки, которые наряду с большими объемами вредных выбросов не обеспечивают достаточно глубокую переработку нефти, что приводит к низкому качеству получаемых из нее нефтепродуктов, уменьшает сроки эксплуатации топливных блоков ТЭС, ТЭЦ, котельных и дизельных двигателей и повышает токсичность их выбросов; значительные потери загрязняющих природную среду энергоносителей (угля при его транспортировке, складировании и перегрузке; газа, нефти и нефтепродуктов при их добыче, хранении и транспортировке и т.д.).

*К организационно-управленческим факторам* экологизации ТЭК можно отнести отсутствие в Украине государственных и ведомственных механизмов всестороннего стимулирования экономного потребления топливно-энергетических ресурсов и недостаточно широкое использование экономически доступных эффективных средств энергосбережения. Вследствие этого затраты топливно-энергетических ресурсов на производство единицы национального продукта и связанные с ними выбросы вредных веществ в природную среду превышают аналогичные показатели индустриально развитых стран Запада в три раза и более. Увеличению вредного воздействия ТЭК на окружающую среду способствует также низкий процент утилизации золошлаков и отходов углеобогащения и угледобычи, что приводит к быстрому накоплению этих твердых отходов — шлакозолоотвалами и терриконами заняты огромные территории.

*К основным юридически-правовым факторам*, сдерживающим решение проблем экологизации ТЭК, относятся: несовершенство природоохранных законов и регламентирующих их четкое выполнение подзаконных актов; отсутствие правовой ответственности за поставки на ТЭС некачественного энергетического топлива; узаконенных гибких тарифов на электроэнергию и льготного налогообложения энергетических предприятий, что не стимулирует использование экологически чистых энергоносителей и источников энергии; а также отсутствие законодательно закрепленных благоприятных условий долгосрочного кредитования для внедрения в ТЭК новых экологически эффективных технологий сжигания энергетических видов топлива и очистки его отходов от вредных примесей и т.д.

*Основными политическими факторами* экологизации являются: во внутренинеполитическом аспекте — некоторая социальная

напряженность, связанная с обеспокоенностью населения ухудшающимся экологическим состоянием окружающей среды, а во внешне-политическом – необходимость выполнения ряда подписанных Украиной международных конвенций, протоколов и соглашений, направленных на охрану атмосферы и защиту биосферы от антропогенного изменения климата и разрушения планетарной экосферы Земли в целом.

Исходя из этого, ожидаемое влияние топливно-энергетического комплекса Украины на природную среду будет определяться, в первую очередь, соответствующими принимаемой энергетической стратегией путями энергообеспечения, соотношениями объемов использования различных видов энергоносителей (угля, газа, мазута, ядерного топлива, возобновляемых источников энергии или ее импорта), эффективностью выбора основных средств экологизации ведущих отраслей ТЭК и доступным уровнем их финансирования.

Ниже рассматривается оценка влияния ТЭК на окружающую среду в шести экспериментальных рабочих вариантах стратегического развития комплекса. Из этих вариантов для экспериментальных расчетов мы выбрали три базовых угольных (пессимистичный, наиболее вероятный и оптимистичный варианта), ориентированных на преобладающее использование значительных объемов угля в процессе формирования топливного баланса ТЭС при ограниченном потреблении природного газа; и три аналогичных им альтернативных – газовых, ориентированных на существенное возрастание объемов внедрения парогазовых установок с котлами-утилизаторами и ТЭЦ на природном газе при продлении срока службы существующих угольных ТЭС на 10 лет с дальнейшим их выводом из эксплуатации.

В связи с тем, что во всех шести вариантах предусмотрено реализовать почти одинаковые сценарии развития атомной энергетики с низким (<10) процентом использования экологически чистых возобновляемых и альтернативных источников энергии, основное влияние ТЭК на окружающую среду будет определяться особенностями развития тепловой энергетики на органических видах топлива и зависеть от эффективности использования этого топлива и возможности экономики финансировать программы энергосбережения и экологизации.

С учетом того, что наиболее опасное воздействие на окружающую среду, население и экономику в региональном и глобальном (общепланетарном) масштабах имеют выбросы в атмосферу продуктов сжигания органических видов топлива предприятиями ТЭК и других

отраслей, использующих это топливо, объективной основой прогноза влияния может быть прогнозная оценка объема наиболее вредных продуктов, к которым относятся химически агрессивные диоксид серы  $SO_2$  и оксиды азота  $NO_x$ , а также основной, создающий парниковый эффект компонент, – углекислый газ  $CO_2$ .

Такая прогнозная оценка будущих ежегодных выбросов в Украине была сделана на период 2005–2030 гг. для каждого из шести вариантов потребления органических видов топлива по формулам (12.1) – (12.3), аналогичным рекомендованным Методикой определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от энергетических установок [70], которая действует в Украине с 01.07.2002г., а именно:

$$BSO_2 = \lambda_{уг} * C_{уг} + \lambda_{нф} * C_{нф}; \quad (12.1)$$

$$BNO_x = \beta_{уг} * C_{уг} + \beta_{нф} * C_{нф} + \beta_{газ} * C_{газ}; \quad (12.2)$$

$$BCO_2 = \gamma_{уг} * C_{уг} + \gamma_{нф} * C_{нф} + \gamma_{газ} * C_{газ}. \quad (12.3)$$

В этих формулах  $BSO_2$ ,  $BNO_x$ ,  $BCO_2$  – годовые объемы выбросов  $SO_2$ ,  $NO_x$  и  $CO_2$ , тыс. т/год;  $\lambda_{уг}$  и  $\lambda_{нф}$  – удельные выбросы  $SO_2$ , т на 1 т сожженного натурального угля и нефтепродуктов соответственно;  $\beta_{уг}$ ,  $\beta_{нф}$ ,  $\beta_{газ}$  – удельные выбросы  $NO_x$ , т на 1 т сожженного натурального угля, нефтепродуктов и природного газа соответственно;  $\lambda_{уг}$ ,  $\lambda_{нф}$ ,  $\lambda_{газ}$  – удельные выбросы  $CO_2$ , т на 1 ТДж использованного натурального топлива (угля, нефтепродуктов и природного газа соответственно); а  $C_{уг}$ ,  $C_{нф}$ ,  $C_{газ}$  – годовое потребление отдельных видов топлива, т в год для расчета выбросов  $SO_2$  и  $NO_x$  и ТДж в год для  $CO_2$ .

Прогнозные расчеты на период 2005–2030 гг. выполнялись для каждого из шести экспериментальных вариантов потребления органических видов топлива по соответствующим данным о потреблении их отдельных видов. При этом значения удельных выбросов  $\lambda$  и  $\beta$  соответствовали данным таблицы, рекомендованной Управлением атмосферного воздуха департамента регулирования экологической безопасности Минэкоресурсов Украины для обобщенных оценок выбросов от сжигания органических видов топлива на основе Методики, а значение  $\gamma$  – из таблицы, рекомендованной “Руководящими принципами Межправительственной группы экспертов по изменению климата”[70]. Учитывая то,



что непосредственное использование формул (12.1) – (12.3) может давать завышенную оценку прогнозных объемов выбросов оксидов серы и азота (в связи с тем, что используемые в них удельные выбросы  $\lambda$  и  $\beta$  предназначены для расчета только сжигания органических видов топлива и только в энергетических, промышленных и коммунальных топках не ниже средней мощности, а реально сжигается только его часть, и частично в маломощных топочных устройствах), это возможное завышение необходимо компенсировать соответствующими корректирующими коэффициентами. Для определения таких коэффициентов по формулам (12.1) – (12.2) и данным о реальном потреблении основных видов органического топлива за 1990–2000 гг., взятым из отчетных топливно-энергетических балансов этих лет, были рассчитаны соответствующие прогнозные значения выбросов оксидов серы и азота, сопоставленные с отчетными данными ЦСУ Украины (формы 2 ТП-воздух) о реальных годовых объемах выбросов за тот же период. Это сопоставление показало, что для получения близких к реальности результатов в расчетные формулы (12.1) – (12.2) следует ввести корректирующие коэффициенты: 0,592 – для оценки объема выбросов  $SO_2$  и 0,267 – для  $NO_x$ , вследствие чего окончательные расчетные формулы для прогнозной оценки этих объемов в период 2005–2030 гг. приобретают вид:

$$BSO_2 = 0,592 * (\lambda_{уг} * C_{уг} + \lambda_{нф} * C_{нф}); \quad (12.4)$$

$$BNO_x = 0,267 * (\beta_{уг} * C_{уг} + \beta_{нф} * C_{нф} + \beta_{газ} * C_{газ}) \quad (12.5)$$

Эффективность использования полученных таким образом корректирующих коэффициентов подтверждается сопоставлением фактических и рассчитанных по формулам (12.4), (12.5) объемов выбросов  $SO_2$  и  $NO_x$  за 1990–2000 гг.

Аналогичное сопоставление рассчитанных по формуле (12.3) фактических объемов выбросов диоксида углерода за 1990 и 1998 гг. (919 и 455 млн т соответственно) показало, что для более объективной оценки прогнозных выбросов  $CO_2$  в эту формулу необходимо ввести корректирующий коэффициент  $k = 1,433$ , который учитывает, что, кроме сжигания органических видов топлива есть еще много других источников поступления  $CO_2$  в атмосферу:

$$BCO_2 = 1,688 * (\gamma_{уг} * C_{уг} + \gamma_{нф} * C_{нф} + \gamma_{газ} * C_{газ}) \quad (12.6)$$

Окончательные рассчитанные по скорректированным формулам (12.4) – (12.6) прогнозные оценки объема выбросов SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> и CO<sub>2</sub> не должна превышать Украина в соответствии с Киотским протоколом об ограничении выбросов парниковых газов CO<sub>2</sub> и с Гетеборгским протоколом 1999 г. в 1990 г., До 2010 г. уровни объемов этих выбросов должны быть уменьшены на 63% ниже реперного уровня 1990 г.

В связи с тем, что значительная часть парниковых газов поступает в земную атмосферу с выбросами тепловой энергетики в результате сжигания органических видов топлива (угля, топочного мазута и природного газа), с учетом прогноза потребления этих видов топлива по формулам (12.7) – (12.9), аналогичным (12.4) – (12.6), были в частности рассчитаны и ожидаемые соответствующие прогнозам объемы выбросов тепловой электроэнергетикой Украины в период 2005–2030 гг. парниковых газов:

$$BSO_2 = 0,592 * (\lambda_{уг} * C_{уг} + \lambda_{маз} * C_{маз}); \quad (12.7)$$

$$BNO_x = 0,267 * (\beta_{уг} * C_{уг} + \beta_{маз} * C_{маз} + \beta_{газ} * C_{газ}); \quad (12.8)$$

$$BCO_2 = \gamma_{уг} * C_{уг} + \gamma_{маз} * C_{маз} + \gamma_{газ} * C_{газ}. \quad (12.9)$$

В этих формулах данные о будущем потреблении топлива энергетикой Украины были взяты из отобранных шести экспериментальных рабочих вариантов развития энергетики, а корректирующие коэффициенты 0,592, 0,267 выбраны в результате сопоставления фактических (по данным ЦСУ Украины) и рассчитанных по формулам (12.7) – (12.9) объемов выбросов SO<sub>2</sub> и NO<sub>x</sub> украинской энергетикой за 1990–2000 гг.

Аналогичным образом были рассчитаны и прогнозы выбросов пыли:

$$V_{пыли} = 3,78 * (\eta_{уг} * C_{уг} + \eta_{маз} * C_{маз}), \quad (12.10)$$

где  $\eta_{уг}$  и  $\eta_{маз}$  – удельные выбросы пыли, т на 1 тыс. т натурального топлива, взятые из расчетных примеров Методики [69], а корректирующий коэффициент 3,78 выбран в результате сопоставления известных и рассчитанных выбросов пыли энергетикой Украины за 1996–1999 гг. Результаты прогноза выбросов

SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> и пыли тепловой энергетикой на период 2005–2030 гг. приведены в табл. 12.1–12.4.

Таблица 12.1

**Экспериментальные прогнозы выбросов пыли тепловой энергетикой  
Украины на период 2000–2030 гг., тыс. т/год**

Вариант прогноза	2000 Факт	2005	2010	2015	2020	2030
		Прогноз				
Для угольной стратегии						
минимальный	262,6	315,7	415,4	606,5	673,0	930,5
максимальный	262,6	398,8	465,3	697,9	789,3	1013,6
Для газовой стратегии						
минимальный	262,6	315,7	390,5	548,3	573,3	598,2
максимальный	262,6	398,8	432,1	598,2	614,9	631,5
Уровень 1990 г.	583,3	583,3	583,3	583,3	583,3	583,3

Таблица 12.2

**Экспериментальные прогнозы выбросов SO<sub>2</sub> тепловой энергетикой  
Украины на период 2000–2030 гг., тыс. т/год**

Вариант прогноза	2000 Факт	2005	2010	2015	2020	2030
		Прогноз				
Для угольной стратегии						
минимальный	690	706	922	1335	1479	2036
максимальный	690	908	1052	1555	1776	2261
Для газовой стратегии						
минимальный	690	706	868	1209	1263	1317
максимальный	690	908	980	1340	1398	1434
Уровень 1990 г.	1691	1691	1691	1691	1691	1691

Из результатов выполненных экспериментальных прогнозных расчетов на период 2005–2030 гг., приведенных в таблицах 12.1– 12.4 видно, что для SO<sub>2</sub> допустимый предельный уровень (63% уровня 1990 г.) будет превышен тепловой энергетикой Украины между 2018

и 2024 гг. только при угольной стратегии развития ТЭК, а  $\text{NO}_x$  – не превысит этого уровня вообще.

Таблица 12.3

**Экспериментальные прогнозы выбросов  $\text{NO}_x$  тепловой энергетикой Украины на период 2000–2030 гг., тыс. т/год**

Вариант прогноза	2000 Факт	2005	2010	2015	2020	2030
		Прогноз				
Для угольной стратегии						
минимальный	124,1	110,2	142,2	203,4	224,8	307,4
максимальный	124,1	145,8	167,1	241,7	280,0	351,9
Для газовой стратегии						
минимальный	124,1	110,2	142,2	203,4	224,8	307,4
максимальный	124,1	145,8	167,1	241,7	280,0	351,9
Уровень 1990 г.	414,4	414,4	414,4	414,4	414,4	414,4

Таблица 12.4

**Экспериментальные прогнозы выбросов  $\text{CO}_2$  тепловой энергетикой Украины на период 2000–2030 гг., тыс. т/год**

Вариант прогноза	2000 Факт	2005	2010	2015	2020	2030
		Прогноз				
Для угольной стратегии						
минимальный	76,3	66,6	82,0	119,6	141,6	186,5
максимальный	76,3	85,1	98,2	138,8	163,7	208,6
Для газовой стратегии						
минимальный	76,3	66,6	80,2	111,3	130,3	163,3
максимальный	76,3	85,1	95,8	130,7	150,3	171,1
Уровень 1990 г.	170,9	170,9	170,9	170,9	170,9	170,9

В связи с ориентацией рассмотренных экспериментальных вариантов развития украинской тепловой энергетики на уголь (особенно при выборе угольной стратегии ее развития) можно ожидать соответствующего ускоренного роста объемов золошлаковых отходов, отходов угледобычи и углеобогащения, фактическая и

прогнозная динамика которых приведена в таблицах 12.5 – 12.6. Прогнозные показатели получены с учетом того, что отходы угледобычи и углеобогащения составляют 42,1% общей угледобычи, а золошлаковые отходы – 45,2% потребленного энергетикой угля. Эти показатели были восстановлены по статистическим данным о фактической добыче и энергетическом потреблении угля в Украине и по данным (форма 14 НТП Госкомстата Украины) за отдельные годы периода 1990–2001 гг. о соответствующих отходах.

Таблица 12.5

**Экспериментальные прогнозы объема отходов углевыработки и углеобогащения в ТЭК Украины на период 2000–2030 гг., млн т / год**

Вариант прогноза	2000 Факт	2005	2010	2015	2020	2030
		Прогноз				
Минимальный	76,3	34,1	33,4	36,2	40,0	45,5
Максимальный	76,3	34,1	36,2	46,3	47,6	49,3

Таблица 12.6

**Экспериментальные прогнозы выхода золошлаковых отходов тепловой энергетики Украины по годам, млн т / год**

Вариант прогноза	2000 Факт	2005	2010	2015	2020	2030
		Прогноз				
Для угольной стратегии						
минимальный	10,1	11,4	15,1	22,0	24,4	33,7
максимальный	10,1	14,4	16,9	25,3	28,6	36,7
Для газовой стратегии						
минимальный	10,1	11,4	14,1	19,9	20,8	21,7
максимальный	10,1	14,4	15,7	21,7	22,3	22,9

Ожидаемое для рассмотренных экспериментальных вариантов развития украинского ТЭК значительное возрастание выбросов вредных газов энергетикой и другими отраслями в результате повышенного потребления органических видов топлива требует внедрения довольно капиталоемких защитных мероприятий по экологизации комплекса, усовершенствования процессов использо-

вания энергии и энергоносителей в этих отраслях и соответствующих финансовых расходов.

В связи с послекризисными экономическими трудностями 2001–2010 гг. наиболее доступной и довольно эффективной мерой экологизации энергетики в этот период может стать широкое внедрение в отраслях ТЭК и всех секторах экономики политики максимального энергосбережения за счет использования экономически доступных средств экономии энергоносителей. Это поможет заметно уменьшить использование первичных энергоресурсов, а значит и снизить интенсивность связанных с их применением вредных воздействий на природную среду и население. Из специальных довольно эффективных мер экологизации ТЭК на первом этапе его стратегического развития можно назвать: завершение реализации пилотных проектов по реконструкции существующих энергоблоков ТЭС с внедрением технологий циркулирующего кипящего слоя; проведение реконструкции существующих ГЭС и введение дополнительных мощностей на АЭС после их достройки, что уменьшит вредное для окружающей среды потребление электроэнергетикой органических видов топлива; разработку типовых проектов реконструкции существующих тепловых электростанций с учетом требований защиты окружающей среды для массового внедрения этих проектов на следующем этапе.

Учитывая намеченное интенсивное использование собственного угля и заметное увеличение его добычи, очень актуальной становится разработка технических проектов дегазации шахт и внедрение новых высокорентабельных экологически эффективных технологий использования метана шахтного вентиляционного воздуха в топках шахтных энергокомплексов, а также технологий изъятия и обогащения шахтного метана с последующей его подачей в магистральные газопроводы или для заправки в жидком состоянии. Это приведет как к уменьшению аварийности загазованных шахт (а они составляют почти 70% всего шахтного фонда), так и к частичному снижению выбросов в воздух парниково опасного метана, что будет содействовать выполнению Украиной условий Киотского протокола.

Если на первом этапе развития ТЭК (до 2010 г.) уровень его экологичности и степень негативного влияния на природную среду будут определяться главным образом трудностью выхода из кризисного состояния экономики при явной недостаточности финансирования экологических мероприятий, то на втором (2011–2020 гг.) и особенно третьем (2021–2030 гг.) этапах и в дальнейшем при ожидаемом наращивании и достаточности такого финансирования

актуальным будет выбор направлений экологически наиболее эффективного использования энергетических видов топлива с учетом роста их объемов и структурных изменений в потреблении. Поскольку наибольший взнос в увеличение выбросов ТЭК опасных веществ может дать ориентация энергетики на реализацию преимущественно угольного варианта развития ТЭС, то в случае его принятия возникает необходимость разработки и внедрения экологически безопасных технологий сжигания угля (в первую очередь методы сжигания в циркулирующем кипящем слое), оснащение до 2015 г. действующих и новых угольных энергоблоков высокоэффективными электрофильтрами очистки дымовых газов от золы и пыли, а также внедрение до 2020 г. установок по обессериванию этих газов. Это будет особенно актуальным при использовании высокзолного и сернистого отечественного угля, для удовлетворения потребности в котором предполагается интенсивное развитие угольной промышленности (реконструкция старых и строительство новых угольных шахт и углеобогачительных фабрик) и решение всех связанных с этим экологических проблем.

К наиболее критичным из них относятся: значительное возрастание отходов угледобычи и углеобогащения, а также золошлаковых отходов ТЭС и котельных, соответствующее увеличение площадей, занятых терриконами пород шахт, углеобогачительных фабрик и переполнение золоотвалов угольных ТЭС, что может стать препятствием для долгосрочного использования угля в топливном балансе энергетики. Решение этой проблемы возможно лишь в случае всестороннего использования путем переработки породных отвалов и золошлаковых отходов, которые являются ценным строительным материалом и должны эффективно использоваться как строительный ресурс. Ныне же используется лишь незначительная часть (не более 20%) ежегодного выхода золошлаков.

Учитывая особенности угольного варианта развития энергетики, можно считать, что по критерию экологичности наиболее целесообразна реализация газовой стратегии ее развития, в особенности с точки зрения уменьшения влияния на окружающую среду выбросов  $SO_2$ , золы, пыли и золошлаковых отходов, загрязняющих земную поверхность, воздух и грунтовые воды.

Предусмотренное этой стратегией увеличение использования газа на ТЭЦ и КЭС хотя и позволит заметно уменьшить загрязнение атмосферы выбросами золы и сернистого газа, но делает актуальным оснащение их системами очистки от окислов азота и внедрение на

тепловых электростанциях и котельных специальных технологий сжигания газа, которые будут значительно уменьшать образование этих оксидов. При этом связанное с их реализацией строительство и интенсивная эксплуатация как газовых буровых скважин, так и газотранспортных сетей, сделает необходимым решение ряда специфических экологических проблем, таких как загрязнение земной поверхности и подземных вод при бурении скважин, атмосферы – выбросами природного газа из них и его потерями в газотранспортных сетях.



---

## ВЫВОДЫ

---

Стабильный рост экономики страны в значительной мере зависит от состояния его энергетического обеспечения. В научных разработках и на практике моделирование процессов развития энергетики осуществляются независимо от альтернатив социально-экономической динамики. Вместе с тем энергетика, разнопланово влияя на состояние социально-экономического развития, зависит от ситуации в экономике. Перспективы развития энергетики в плановой экономике определялись директивными методами с обязательным опережением темпов экономического развития.

В рыночных условиях хозяйствования при прогнозировании энергообеспечения необходимо учитывать альтернативные ситуации, касающиеся как снабжения энергоносителями, так и приоритетов экономического и социального развития страны. Решение таких задач требует использования современных средств моделирования, которые бы учитывали альтернативные сценарии развития в определенной перспективе взаимодействующих сложных систем.

Разработке и использованию имитационных методов моделирования сейчас уделяется большое внимание. Анализ научных работ и практики их использования показывает, что часть таких методических рекомендаций можно использовать как типовые решения для соответствующих условий. Однако применение готовых разработок имитационного моделирования невозможно при прогнозировании сложных ситуаций, касающихся определения основных параметров обеспечения энергоносителями социально-экономического развития.

Для обоснования перспективного энергообеспечения постоянного социально-экономического роста сформулирована концепция и разработаны методические положения и модели, в которых показатели по оценке спроса, формированию ресурсной и затратной части энергетических балансов определяются в зависимости от сценариев экономического развития и приоритетов в энергетической политике, при этом учитываются другие требования и ограничения в этом секторе экономики.

Имитационное моделирование процессов определения основных

параметров энергообеспечения (на основе составления перспективных ТЭБ) базируется на:

- создании взаимодействующей системы моделей определения основных макроэкономических параметров социально-экономического развития (на основе межотраслевого баланса) с комплексом формализованных процессов прогнозирования (по предвиденному сценарию) развития энергетики, учет масштабов экономии ТЭР на основе осуществления государственной политики по энергосбережению, соблюдение требований относительно уровня энергетической и экологической безопасности и осуществления эффективной энергетической дипломатии, а также учета других факторов, которые влияют на стабильное энергообеспечение социально-экономического развития страны в перспективе;

- разработке моделей оценки потребности и формирования объема и структуры топливно-энергетических ресурсов в соответствии с масштабами и задачами экономического и социального развития;

- оценке реальных возможностей производственного потенциала по добыче, переработке топлива и производства электро- и теплоэнергии в перспективе;

- формализации процессов оценки экологической нагрузки;

- разработке технологической схемы вариантных комплексных перерасчетов показателей экономического развития и энергетики в зависимости от сценариев и результатов промежуточных расчетов перспективного развития энергетики Украины с поэтапным их согласованием;

- разработке средств комплексного формирования перспективных топливно-энергетических балансов (сводного и по видам ТЭР).

Результаты этого исследования использованы для обоснования Энергетической стратегии Украины на период до 2030 года и подготовки других материалов по оценке состояния и прогноза перспектив развития энергетики.

Об отдельных результатах исследования докладывалось на международных и отечественных конференциях, том числе в г. Минске – Беларусь на научной конференции «Проблемы прогнозирования и государственного регулирования социально-экономического развития» (2–3 октября 2003 г.). Основные положения предложенных методических подходов освещены в монографиях и статьях, в специализированных журналах.

В процессе исследования выявлены следующие проблемы, которые надлежит решать в ближайшей перспективе:

- обеспечить комплексную информатизацию процессов совместного моделирования альтернативных сценариев развития энергетики и социально-экономического развития;
- разработать методологию определения уровня энергообеспечения страны с учетом энергетической и экологической безопасности при реализации разных стратегий;
- разработать методологию расчетов уровня энергообеспечения в условиях поэтапной глобализации экономических и энергетических процессов и подготовить формы и механизмы энергообеспечения, адекватные новым внешним и внутренним факторам хозяйствования.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

Прогнозирование составляющих ВВП (ВДС) включает оценку динамики оплаты труда наемных работников ( $ОП_{jt}$ ); заработной платы ( $ЗП_{jt}$ ); фактические и прогнозные отчисления ( $НФ_{jt}^{ЗП}$ ), ( $НУ_{jt}^{ЗП}$ ) на социальные мероприятия:

$$ЗП_{jt} = ЗП_{j,t-1} \cdot \tau_{jt}^{ЗП} \cdot \tau_{jt}, \quad (1)$$

$$НФ_{jt} = ЗП_{jt} \cdot \frac{НФ_{j,t-1}}{ЗП_{j,t-1}} \cdot K_{jt}^{НФ}, \quad (2)$$

$$НУ_{jt} = ЗП_{jt} \cdot \frac{НУ_{j,t-1}}{ЗП_{j,t-1}} \cdot K_{jt}^{НУ}, \quad (3)$$

где  $K_{jt}^{НФ}$ ,  $K_{jt}^{НУ}$  - коэффициенты изменения фактических и условных начислений в  $t$ -м периоде;

Оплата труда нанимаемых работников рассчитывается по формуле:

$$ОП_{jt} = ЗП_{jt} + НФ_{jt} + НУ_{jt}. \quad (4)$$

Ожидаемые в прогнозном периоде налоги на производство и импорт определяются с учетом изменения налогов на продукты ( $ППР_{jt}$ ) и других видов налогов, связанных с производством ( $ПВ_{jt}$ ):

$$ППР_{jt} = \frac{ППР_{(t-1)j}}{V_{(t-1)j}} \cdot V_{jt} \cdot K_{jt}^{ППР}; \quad (5)$$

$$ПВ_{jt} = \frac{ПВ_{j,t-1}}{V_{j,t-1}} \cdot V_{jt} \cdot K_{jt}^{ПВ}, \quad (6)$$

где  $K_{jt}^{ППР}$ ,  $K_{jt}^{ПВ}$  - коэффициенты, которые учитывают изменения условий, а следовательно, и размера налогообложения продуктов и производства.

Субсидии на производство на перспективу рассчитываются с учетом намеченных в перспективе изменений предпочтений и других

форм поддержки отечественного производства:

субсидии на продукты:

$$SP_{jt} = \frac{SP_{(t-1)j}}{B_{(t-1)j}} \cdot B_{jt} \cdot K_{jt}^{SP}, \quad (7)$$

другие субсидии:

$$SI_{jt} = \frac{SI_{(t-1)j}}{B_{(t-1)j}} \cdot B_{jt} \cdot K_{jt}^{SI}, \quad (8)$$

где  $K_{jt}^{SP}$ ,  $K_{jt}^{SI}$  – коэффициенты, которые учитывают изменения субсидий на продукты и другие субсидии в  $t$ -м периоде; субсидии на производство и импорт на  $t$ -й период:

$$S_{jt} = SP_{jt} + SI_{jt}. \quad (9)$$

Валовый доход, смешанный доход  $ЗД_{jt}$  определяются с учетом изменений в перспективе условий потребления основного капитала ( $ОК_{jt}$ ) и чистой прибыли ( $ПЧ_{jt}$ ):

$$ОК_{jt} = \frac{ОК_{(t-1)j}}{B_{(t-1)j}} \cdot B_{jt} \cdot K_{jt}^{OK}, \quad (10)$$

$$ПЧ_{jt} = \frac{ПЧ_{(t-1)j}}{B_{(t-1)j}} \cdot B_{jt} \cdot K_{jt}^{ПЧ}, \quad (11)$$

или

$$ВВП_{jt} - ПЧ_{jt} = \frac{ПЧ_{(t-1)j}}{ВВП_{(t-1)j}} \cdot ВВП_{jt} \cdot K_{jt}^{ПЧ}, \quad (12)$$

где  $K_{jt}^{OK}$ ,  $K_{jt}^{ПЧ}$  – коэффициенты, которые учитывают изменения условий формирования амортизационных отчислений (основного капитала) и чистой прибыли.

Валовый доход, смешанный доход ( $ВД_{jt}$ ) определяются из соотношения

$$ВД_{jt} = ОК_{jt} + ПЧ_{jt}. \quad (13)$$

Налог на добавленную стоимость определяется исходя из действующих в прогнозном периоде нормативно-правовых положений его начисления:

$$\text{НДС}_{jt} = \frac{\text{ПДВ}_{(t-1)j}}{\text{В}_{(t-1)j}} \cdot \text{В}_{jt-1} \cdot \text{К}_{jt}^{\text{ПДВ}}, \quad (14)$$

где  $\text{К}_{jt}^{\text{ПДВ}}$  – коэффициент, который учитывает изменение начисления НДС в  $t$ -м периоде.

Налоги на продукты и импорт на  $t$ -й период определяются по аналогии с НДС.

Импорт продукции (работ) определяется как разница между спросом на соответствующую продукцию (услуги) и намеченным их производством.

*Спрос на продукцию (услуги) в целом и по видам деятельности включает в себя:* конечное потребление, валовое накопление основного капитала и экспорт продукции (работ).

**Ожидаемое конечное потребление определяется с учетом:**

- динамики потребления домашних хозяйств;
- ожидаемых затрат некоммерческих организаций, которые обслуживают домашние хозяйства.

Затраты на общегосударственное управление рассчитываются, включая индивидуальные, коллективные затраты и операции с военной техникой, которая была в использовании.

Валовое накопление основного капитала включает в себя:

- валовое накопление основного капитала;
- изменения запасов материальных оборотных средств;
- чистое приобретение ценностей.

Экспорт продукции (услуг) формируется в зависимости от конъюнктуры внешнего рынка.

Динамика потребления домашних хозяйств в перспективе пропорциональна росту доходов населения (за исключением отложенного спроса), с учетом других особенностей изменения затрат домашних хозяйств, а также структурных изменений частного сектора. Затраты домашних хозяйств включают в себя затраты на приобретение потребительских товаров (услуг), потребление товаров (услуг) в натуральной форме и произведенных для собственного потребления в некорпоративных предприятиях домашних хозяйств, а также условно вычисленную стоимость проживания в собственном жилье.

Доходы населения формируются под влиянием роста уровня заработной платы ( $\text{ЗП}_t$ ), пенсий ( $\text{ПН}_t$ ), стипендий ( $\text{СТ}_t$ ) и других социальных выплат. Ожидаемый доход домашних хозяйств на перспективный период определяется по одному из соотношений.

$$ДГ_t = ДГ_{(t-1)} \cdot \tau_t^{dc}, \quad (15)$$

или

$$ДГ_t = ЗП_{(t-1)} \cdot \tau_t^{ЗП} + ПН_{(t-1)} \cdot \tau_t^{ПН} + СТ_{(t-1)} \cdot \tau_t^{СТ} + Д^{np}_{(t-1)} \cdot \tau_t^{np}, \quad (16)$$

$\tau_t^{dc}$ ,  $\tau_t^{ЗП}$ ,  $\tau_t^{ПН}$ ,  $\tau_t^{СТ}$ ,  $\tau_t^{np}$  темпы роста ДГ, ЗП, ПН, СТ, Д<sup>np</sup> соответственно.

где  $dz_{it}$  затраты домашних хозяйств страны в целом в  $t$ -м году прогнозного периода пропорциональные росту доходов и приравненных к ним доходов ( $ДГ_t$ )

$$dz_{it} = \frac{dz_{(t-1)}}{ДГ_{(t-1)}} \cdot ДГ_t \cdot k_i^{dz}. \quad (17)$$

Затраты  $ДГ_t$  на продукцию (услуги) в разрезе  $i$ -х видов продукции (услуг) рассчитываются из соотношения:

$$dz_{it} = ДГ_t \cdot \frac{dz_{(t-1)i}}{ДГ_{(t-1)}} \cdot K_n^{dz}, \quad (18)$$

где  $dz_{it}$ ,  $dz_{(t-1)i}$  – затраты  $ДГ_t$   $i$ -го вида деятельности в прогножном и предпрогножном периодах;  $K_n^{dz}$  – коэффициент, который учитывает изменения спроса на  $i$ -ю продукцию (услуги).

Общий объем услуг некоммерческих организаций, которые обслуживают домашние хозяйства, определяется в зависимости от государственной политики в области услуг в сфере образования, здравоохранения и других видах деятельности исходя из темпов роста доходов ( $ПЧ_t$ ):

$$НП_t^{dc} = \frac{НП_{(t-1)}^{dc}}{ПЧ_{(t-1)i}} \cdot ПЧ_t \cdot K_i^{НП}, \quad (19)$$

где  $НП_t^{dc}$ ,  $НП_{(t-1)}^{dc}$ , – общий объем услуг некоммерческих организаций, которые обслуживают домашние хозяйства, в прогножном и предпрогножном периодах;  $K_i^{НП}$  – коэффициент, который учитывает изменение удельного веса услуг в общем объеме прибыли услуг некоммерческих организаций в  $t$ -м периоде.

Услуги некоммерческих организаций (по видам деятельности ( $i$ )) оцениваются с учетом ожидаемого изменения в структуре (объемах)

их финансирования:

$$\text{НП}_y^{dz} = \text{НП}_t^{dz} \cdot \frac{\text{НП}^{dz}_{(t-1)l}}{\text{НП}^{dz}_{(t-1)}} \cdot K_n^{\text{НП}}, \quad (20)$$

где  $K_n^{\text{НП}}$  – коэффициент, который учитывает изменение структуры (объемов) услуг некоммерческих организаций, единиц.

Определение общего объема затрат на индивидуальные ( $\text{ВI}_t$ ) и коллективные ( $\text{ВK}_t$ ) услуги выполняется по удельному весу (доле) индивидуальных затрат ( $d_t^{\text{ВI}}$ ) в прогнозном периоде в общем объеме услуг некоммерческих организаций.

Затраты общегосударственного управления ( $\text{ЗГУ}_{jt}$ ), включая индивидуальные ( $\text{ЗИ}_{jt}$ ) и коллективные ( $\text{ЗK}_{jt}$ ), рассчитываются с учетом доли ВВП, которая перераспределяется через бюджет ( $K^b$ ), ожидаемого дефицита бюджета ( $d^b$ ), а также ожидаемых объемов закупки государством товаров, услуг (для обеспечения государственных учреждений).

Коллективные затраты общегосударственного управления ( $\text{ЗГУ}_{jt}$ ) рассчитываются пропорционально темпам роста ВВП:

$$\text{ЗГУ}_{jt} = \text{ВВП} (K^b + d^b). \quad (21)$$

Ожидаемые затраты на индивидуальные и коллективные услуги сектора государственного управления по видам экономической деятельности рассчитываются на основе соответствующих векторов коэффициентов, которые учитывают структурные изменения затрат на индивидуальные ( $K^{\text{ЗИ}}$ ) и коллективные ( $K^{\text{ЗК}}$ ) затраты по видам экономической деятельности.

Потом определяются затраты общегосударственного управления на индивидуальные и коллективные услуги как доли в их общем объеме ( $d_t^{\text{ЗИ}}$ ):

$$\text{ЗИ}_{jt} = \text{ЗГУ}_t \cdot d_t^{\text{ЗИ}}, \quad (22)$$

$$\text{ЗK}_{jt} = \text{ЗГУ}_t - \text{ЗИ}_{jt}, \quad (23)$$

где  $\text{ЗИ}_{jt}$ ,  $\text{ЗK}_{jt}$  – индивидуальные и коллективные затраты ресурсов общегосударственного управления в прогнозном периоде.

Затраты общегосударственного управления по видам деятельности определяются пропорционально их расходам в базовом и ожидаемых структурных изменений в прогнозном периоде:



$$ЗИ_{ji} = ЗИ_{jy} \cdot \frac{ЗИ_{i(t-1)}}{ЗИ_{(t-1)}} \cdot K_{ii}^{ЗИ}, \quad (24)$$

$$ЗК_{jy} = ЗК_{jy} \cdot \frac{ЗК_{i(t-1)}}{ЗК_{(t-1)}} \cdot K_{ii}^{ЗК}, \quad (25)$$

где  $K_{ii}^{ЗИ}$ ,  $K_{ii}^{ЗК}$  коэффициенты, которые учитывают изменения индивидуальных и коллективных затрат государственного управления в разрезе  $i$ -х видов деятельности.

В части определения операций с военной техникой учитываются масштабы ожидаемой ее реализации в  $t$ -м прогнозном периоде ( $ВТ_{jt}$ ) в целом и по видам:

$$ВТ_t = \sum ВТ_{it} \cdot K_{it}^{ВТ}; \quad (26)$$

$$ВТ_{it} = ВТ_{it} \cdot K_{ii}^{ВТ}, \quad (27)$$

где  $K_{it}^{ВТ}$ ,  $K_{ii}^{ВТ}$  – коэффициенты, которые учитывают изменения операций с военной техникой.

Валовое накопление основного капитала в  $t$ -м периоде ( $ВНК_t$ ) определяется как функция общего объема инвестиций и учет предвиденного их перераспределения и привлечение дополнительных источников инвестирования ( $K_{it}^{ВНК}$ ):

$$ВНК_{it} = КВ_{ij} \cdot \frac{ВНК_{(t-1)i}}{КВ_{(t-1)j}} \cdot K_{ii}^{ВНК}. \quad (28)$$

Общий объем капитальных вложений рассчитывается на основе их соотношений, сложившихся между ними и ВВП в базовом периоде и его корректирование в перспективе:

$$КВ_{it} = КВ_{iy} \cdot \frac{КВ_{(t-1)i}}{ВВП_{(t-1)j}} \cdot K_{ii}^{КВ}, \quad (29)$$

где  $КВ_{ii}^{КВ}$  – коэффициент, который учитывает изменение удельного веса общего объема капиталовложений в  $t$ -м году исходя из создания благоприятного инвестиционного климата в стране.

Накопление основного капитала по  $i$ -м видам деятельности  $ВНК_{jt}$  рассчитывается из соотношения:

$$\text{ВНК}_i = \text{KB}_y \cdot \frac{\text{ВНК}_{(t-1)j}}{\text{KB}_{(t-1)j}} \cdot K_i^{\text{ВНК}}, \quad (30)$$

где  $K_y^{\text{ВНК}}$  – коэффициент, который учитывает изменение удельного веса накопления основного капитала в  $i$ -м виде деятельности в  $t$ -м году.

Чистое приобретение ценностей рассчитывается на основе тенденций, сложившихся в базовом периоде:

$$\text{ПЦ}_i = \frac{\text{ПЦ}_{t-1}}{\text{ДГ}_{t-1}} K_i, \quad (31)$$

где  $\text{ПЦ}_i, \text{ПЦ}_{t-1}$  – приобретение ценностей в прогнозном и пред-прогнозном периодах;  $K_i$  – коэффициент, который учитывает изменение соотношения величины чистого приобретения ценностей и денежных доходов населения в прогнозном периоде.

Изменение запасов материальных оборотных средств ( $33_{ii}$ ) определяется пропорционально динамике промежуточного потребления  $i$ -х видов деятельности, трансформационных изменений в структуре реальных секторов экономики:

$$33_{ii} = \frac{33_{(t-1)j}}{\text{ПС}_{(t-1)j}} \cdot \text{ПС}_i \cdot (\pm K_i^{33}), \quad (32)$$

где  $K_i^{33}$  – коэффициент, который учитывает динамику (уменьшение “–”, рост “+”) запасов материальных оборотных средств в  $t$ -м периоде.

Объем экспорта  $i$ -х видов продукции (услуг) определяется из ожидаемой конъюнктуры региональных и мирового рынков. Они вне этой модели формируются по экспертным оценкам.

Ожидаемый объем экспорта продукции (услуг) определяется по каждому  $i$ -му виду на основе прогнозного объема производства продукции (услуг) и с учетом изменения в  $t$ -м периоде и конъюнктуры мирового рынка

$$E_i = V_i^p \cdot \frac{E_{(t-1)j}}{V_{(t-1)j}} \cdot K_i^e, \quad (33)$$

где  $K_i^e$  – коэффициент, который учитывает ожидаемое изменение конъюнктуры внешнего рынка  $i$ -го вида продукции (услуг) в  $t$ -м периоде.

На основе оценки спроса на продукцию (услуги) в разрезе  $i$ -х видов деятельности определяется вектор импорта как разница ожидаемого промежуточного распределения продукции по видам деятельности и реального их производства по соответствующим видам продукции (услуг). Результаты прогноза тщательно анализируются относительно их соответствия потенциалу собственного производства.

Полученные оценки сопоставляются с масштабами экспорта и при необходимости пересматривается объем импорта и уточняется объем производства с учетом (или без пересмотра) инвестиций. Комплекс расчетов при этом повторяется.

Спрос всех секторов экономики на продукцию (услуги)  $j$ -х видов рассчитывается интегральным вектором ( $V_j^{pi1}$ )

$$V_j^{pi1} = dZ_j + НП_j^{dz} + ВНК_j + ЗИ_j + ЗК_j + ВГ_j + ВНК_j + ЗЗ_j + E_j + ПС_j \quad (34)$$

Определение импорта  $j$ -го вида продукции:

$$V_j^p - V_j^{pi1} = V_j^{im} \quad (35)$$

где  $V_j^{im}$  - объем импорта  $j$ -й продукции (услуг).

При сравнении импорта с общим экспортом продукции (услуг) объем импорта, который превышает объем экспорта, надлежит пересматривать объемы: производства; объем импорта; объем экспорта.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бигдан В.Б., Гусев В.В., Марьянович Т.П., Сахнюк М.А.* Становление и развитие имитационного моделирования в Украине. – <http://www.icfcst.kiev.ua/SYMPOSIUM/Proceedings/Bigdan.doc>.
2. *Якимов И., Девятков В.* Развитие методов и систем имитации в СССР и России. – [http://www.gpss.ru/paper/dev\\_yak/print.html](http://www.gpss.ru/paper/dev_yak/print.html).
3. *Ефименко М.В.* ИММУНИТЕТ. Обзор литературы по основам иммунологии. – <http://www.primers.ru/manuals/immunologia/obzor/2.3-2.7.htm>.
4. *Карпов Ю.Г.* Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование AnyLogic 5. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – С. 390.
5. *Кобелев Н.Б.* Основы имитационного моделирования сложных экономических систем. – М.: Дело, 2003. – С. 335.
6. *Рыжиков Ю.И.* Имитационное моделирование. Теория и технологии. – М.: Альтекс-А, 2004. – С. 380.
7. *Витлінський В.В.* Моделювання економіки: Навчальний посібник. – Київ: КНЕУ, 2003. – С. 406.
8. *Советов Б.Я., Яковлев С.А.* Моделирование систем. – М.: Высшая школа, 2005. – С. 343.
9. *Томашевський В.М.* Моделювання систем. – Київ: Видавничка група ВНУ, 2005. – С. 349.
10. *Имитационное моделирование. Теория и практика//Матер. Конф. ИММОД.* – Т. I, Т. II. – СПб.: ЦНИИК, 2005. – С. 614.
11. *Ворончук М.М., Цыба Н.А.* Модификационное прогнозирование при решении задач АСНР в условиях неполной информации//Общесметодические проблемы создания автоматизированных систем планирования и управления народным хозяйством: Сб. науч. тр. ГлавНИИ ВЦ Госплана УССР. – Киев, 1976. – С. 56–66.
12. *Ворончук М.М., Квят С.П.* Интерпретирующая программа-консультант для аппроксимации и прогнозирования временных рядов экономических показателей//Проблемы совершенствования планирования в условиях АСПР: Сб. науч. тр. ГлавНИИ ВЦ Госплана УССР. – Киев, 1977. – С. 141–148.
13. *Ворончук М.М., Бондаренко В.П.* Методика определения оптимальных параметров периода осреднения для расчета погодноклиматических норм предстоящих периодов//Кн. Применение статистических методов в метеорологии: Тр. Всесоюз. симп. по применению статистических методов в метеорологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – С. 151–153.
14. *Ворончук М.М., Бондаренко В.П.* Оптимизация расчетных значений элементов погодноклиматического режима//Тр. Украинс-

кого научно-исследовательского гидрометеорологического института. – М.: Гидрометеиздат, 1972, – Вып. 112. – С. 132–140.

15. *Абдусаматов Х.И.* Об уменьшении интегрального потока солнечного излучения и понижении глобальной температуры Земли до состояния глубокого похолодания к середине XXI века. – [www.ipa.nw.ru/SPAS/archive.htm](http://www.ipa.nw.ru/SPAS/archive.htm).

16. *Лана В.Г.* Методы предсказания и предсказывающие системы. Киев: Вища школа, 1980. – С. 168.

17. *Теория* прогнозирования и принятия решений. – М.: Высшая школа, 1992. – С.326.

18. *Холден К., Пиш Д., Томпсон Дж.* Економічне прогнозування: Вступ. – Київ: Інформтехніка ЕМЦ, 1996. – С. 128.

19. *Ивахненко А.Г.* Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами. – Киев: Техніка, 1975. – С. 213.

20. *Ивахненко А. Г.* Моделирование сложных систем: информационный подход. – Киев: Наукова думка, 1987. – С. 136.

21. *Айвазян С.А. и др.* Основы моделирования и первичная обработка данных. – М.: Финансы и статистика, 1983. – С. 323.

22. *Айвазян С.А. и др.* Исследование зависимостей. – М.: Финансы и статистика, 1989. – С. 289.

23. *Андерсен Т.* Статистический анализ временных рядов. – М.: Мир, 1976. – С. 186.

24. *Ворончук М.М., Кулиш Е.В.* Фильтрация циклических процессов скользящим сглаживанием с устранением сопутствующих искажающих эффектов//Применение статистических методов в метеорологии: Тр. II Всесоюз. симп. по применению статистических методов в метеорологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – С. 48–53.

25. *Ворончук М.М.* Устранение алгоритмических искажений, возникающих при решении задач идентификации объектов управления. Экономико-математические модели прогнозирования экономических показателей. – Киев: Общество "Знание", 1978. – С. 125–132.

26. *Ворончук М.М.* Учет искажений цикличности, возникающих при исследовании ее методами скользящих средних и интегрально-разностных кривых// Тр. Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – Вып. 127. – С. 43–58.

27. *Ворончук М.М., Самсонова Т.В.* Анализ и прогноз динамики экономических показателей методом скользящего полиномиального сглаживания//Проблемы экономико-математического моделирования в АСПР союзной республики: Сб. науч. тр. ГлавНИИ ВЦ Госплана УССР. – Киев, 1979. – С. 89–92.

28. *Ворончук М.М., Самсонова Т.В.* Анализ гидрометеорологических временных рядов методом скользящего полиномиального сглаживания//Тр. Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института. – М.: Гидрометеоздат, 1980. – С. 100–107.
29. *Раяцкас Р.Л.* Система моделей планирования и прогнозирования. – М.: Экономика, 1976. – С. 163.
30. *Ворончук М.М.* Методы балансировки линейных иерархических систем экономических показателей//Общесистемное обеспечение АСПР союзной республики: Сб. науч. тр. ГлавНИИВЦ Госплана УССР. – Киев, 1978. – С. 99–102.
31. *Ворончук М.М., Квят С.П.* Прогнозирование и балансировка многоуровневых иерархических систем аддитивно связанных экономических показателей. Методы и модели планирования в функциональных подсистемах АСПР союзной республики: Сб. науч. тр. ГлавНИИ ВЦ Госплана УССР. – Киев, 1979. – С.68–75.
32. *Янч Э.* Прогнозирование научно-технического прогресса. М.: Прогресс, 1959. – С. 218.
33. *Ворончук М.М., Пириашвили Б.З., Чиркин Б.П., Щепец О.И.* Энергетика и природная среда. Проблемы взаимодействия. – Киев: Наукова думка, 2005. – С. 207.
34. *Ворончук М.М.* Проблемы циклогенеза эколого-экономических систем//Матер. междунар. конф. «Рынок. Предприниматель. Инвестиции», Киев, 1994. – Киев: Манускрипт, 1995. – С.27–35.
35. *Ворончук М.М.* Возможные механизмы возникновения цикличности в динамике социальных и эколого-экономических систем//Матер. III междунар. Кондратьевской конф. – Кострома, 1998. – С.101–112.
36. *Ворончук М.М., Большой В.В.* Современные тенденции изменения загрязненности верхнего слоя почвы населенных пунктов Украины Чернобыльскими радионуклидами. Современные проблемы охраны земель: Тр. межгосударственной науч. конф. Киев, 1997. – Киев: Изд-во СОПС Украины АН Украины, 1997. – С. 24–30.
37. *Статистическое моделирование и прогнозирование.* – М.: Финансы и статистика, 1990. – С. 351.
38. *Ворончук М.М., Пяткин А.М., Цилюрченко Л.П.* Прогнозирование природообусловленной динамики потребления топливно-энергетических ресурсов//Материалы по науковедению. – Киев: Изд-во отделения комплексных проблем науковедения СОПСА АН УССР, 1970. – Вып.9. – С. 99–105.
39. *Ворончук М.М.* Методологические вопросы учета динамики природных условий при экономическом прогнозировании//Там же. – 1971. Вып.11. – С. 3–27.

40. *Ворончук М.М.* Вероятностное представление и оптимизация использования гидрометеорологических прогнозов//Эффективность гидрометеорологического обслуживания народного хозяйства. – Л.: Гидрометеоиздат, 1973. – С. 55–70.

41. *Кучин Б.Л., Якушева Е.В.* Управление развитием экономических систем. – М.: Экономика, 1990. – С. 248.

42. *Ворончук М.М.* Проявление в колебаниях водности Днепра солнечной активности и других космико-геофизических факторов. Тр. УкрНИИ Госкомгидромета. – М.: Гидрометеоиздат, 1976. – Вып. 167. – С. 44–59.

43. *Борщёв А.В.* Практическое агентное моделирование и его место в арсенале аналитика//Имитационное моделирование. Теория и практика: Матер. конф. ИММОД. Том I. – СПб.: ЦНИИК, 2005. – С. 11–24.

44. *Конюх В.Л., Игнатъев Я.Б., Зиновьев В.В.* Развитие средств имитационного моделирования//Там же. – С. 122–126.

45. *Форрестер Дж.* Основы кибернетики предприятия. – М.: Прогресс, 1974. – С. 340.

46. *Форрестер Дж.* Динамика развития города. – М.: Прогресс, 1978. – С.288.

47. *Форрестер Дж.* Мировая динамика. – М.: Наука, 1978. – С. 189.

48. *Завриев, Н.К., Поспелов И.Г. и др.* Уроки эксплуатации системы ЭКОМОД и новые перспективы. – М.: ВЦ РАН, 2004. – С. 72.

49. *Учебное пособие по GPSS World.* – Казань: Мастер Лайн, 2002. – С. 272.

50. *Markowitz H.M., Bernard H.,Karr H.W.* SIMSCRIPT, a Simulation Programming Language. – Eng ewood Cliffs: Prentic Hall 1963.

51. *Питерсон Дж.* Теория сетей Петри и моделирование систем. – М.: Мир, 1984. – С. 264.

52. *Дал У., Мюрхауг Б., Нюргорд К.* Симула-67. Универсальный язык программирования / Пер. с англ. – М.: Мир, 1969. – С. 100.

53. *Henriksen J. et al.* Using Proof Animation. – USA: Wolverine Software Corp., 2-nd edition, 1976. – P. 355.

54. *Крон Г.* Тензорный анализ сетей. – М.: Советское радио, 1978. – С. 125.

55. *Крон Г.* Исследование сложных систем по частям. – М.: Наука, 1982. – С. 212.

56. *Петров А.Э.* Тензорная методология в теории систем. – М.: Радио и связь, 1985. – С. 189.

57. *Джефффри Дж.* Введение в системный анализ, применение в экологии. – М.: Мир, 1981. – С. 178.

58. *Иванищев В.В., Марлей В.Е.* Введение в теорию алгоритмических сетей. – СПб.: СПб ГТУ, 2000. – С. 180.

59. *Иванищев В.В., Марлей В.Е.* Автоматизация моделирования экологических систем. – СПб.: СПб ГТУ, 2000. – С. 172.

60. *Салманов О.Н.* Математическая экономика с применением MathCAD и Excel. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003 – С. 436.

61. *Месаревич М., Такахара Д.* Общая теория систем и ее математические основы//Исследования по общей теории систем. – М.: Мир, 1978. – С. 196.

62. *Шатихин Д.Г.* Структурные матрицы и их применение для исследования систем. – М.: Машиностроение, 1991. – С. 248.

63. *Економіка України: стратегія і політика довгострокового розвитку*/За ред. академіка НАН України В. М. Гейця. – Киев: Фенікс, 2003. – С. 1001.

64. *Стан і майбутнє енергетики України. Погляд громадськості*//НТС енергетиків та електротехніків України, Міністерство палива та енергетики України, НАН України та інші. – Київ, 2005. – С. 324.

65. *Бронников В.К., Соколовская Н.И.* К вопросу о концепции энергетической политики и энергетической безопасности Украины//Энергетична стратегія України. – Київ: Енергетика та електрифікація, 2003. – С. 53–56.

66. *Прогнозування і розробка програм (методичні рекомендації)*/За ред. В.Ф.Бессідна. – Киев: Науковий світ, 2000. – С. 468.

67. *Дубовик В.С., Нижник О.М., Піріаєввілі Б.З., Чіркін Б.П.* Регіональні матеріальні баланси: розробка базових балансів. – Київ: РВПС України НАН України, 2005. – С. 79.

68. *Мелентьев Л.А., Стырикович М.А., Штейнгауз Е.О.* Топливо-энергетический баланс СССР. – М.;Л.: Энергоиздат, 1962. – С. 184.

69. *Гранберг А. Г.* Основы региональной экономики. – М.: ГУ ВШЭ, 2000. – С. 138.

70. *Сергиенко И. В., Михалевиц М. В., Стецюк П. И., Кошлай Л. Б.* Межотраслевая модель планирования структурно-технологических изменений//Кибернетика и системный анализ. – №3. – С. 3–17.

71. *Методика* определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от энергетических установок. Руководящие принципы Межправительственной группы экспертов по изменению климата. Единые критерии качества вод. СЭВ. – М.: 1982. – С. 69.

72. *Подолець Р.З.* Енергетичний баланс України: моделювання і прогнозування.//НАН України Інститут економіки і прогнозування. – К., 2007. – С.173.



*Наукове видання*

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
РАДА ПО ВИВЧЕННЮ ПРОДУКТИВНИХ СИЛ УКРАЇНИ

ПІРІАШВІЛІ Борис Захарович  
ВОРОНЧУК Михайло Михайлович  
ЧИРКІН Борис Петрович  
ГАЛИНОВСЬКИЙ Євген Іванович  
ЩЕПЕЦЬ Ольга Іванівна

---

## ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ЕНЕРГЕТИЦІ

---

Російською мовою

Київ, Державне науково-виробниче підприємство  
«Видавництво «Наукова думка» НАН України, 2008

Художнє оформлення *М.О.Коваленко*  
Комп'ютерна верстка *О.І.Щепець*

Підписано до друку 29 березня 2007 р.  
Формат 60x84/16. Папір офс. № 1 Гарн. Таймс.  
Друк. офс. Друк. арк. 19,0. Обл. вид. арк. 19,0.  
Тираж 300 прим. Зам. *180*.

НВП «Видавництво «Наукова думка» НАН України  
01601 Київ 1, вул. Гершенківська, 3

Видавництво «Логос»  
Київ, вул. Богдана Хмельницького, 10