

**ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ  
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ  
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ АСУТП  
ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

В трех книгах

Книга 3

---

Моделирование

---

МОНОГРАФИИ ИГЭУ





***Надо не только знать то, что надо делать  
в той или иной ситуации,  
но и быть готовым  
к такому развитию событий***

**Иваново - 2013**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ В.И. ЛЕНИНА»

# ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ АСУТП  
ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

В трех книгах

*Под общей редакцией  
доктора технических наук, профессора  
Ю.С. Тверского*

Иваново 2013

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ В.И. ЛЕНИНА»

# ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ АСУТП  
ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Книга 3  
МОДЕЛИРОВАНИЕ

*Под общей редакцией  
доктора технических наук, профессора  
Ю.С. Тверского*

Иваново 2013

УДК 681.3

T26

Теория и технология систем управления. Многофункциональные АСУТП тепловых электростанций. В 3-х кн. Кн. 3. Моделирование / Под общей ред. д-ра техн. наук, проф. Ю.С. Тверского; ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2013. – 208 с.

ISBN

ISBN

Рассмотрены основные аспекты современной теории и технологии создания сложных систем управления, проблемы и задачи стадий проектирования территориально-распределенных многофункциональных АСУТП электростанций.

В третьей книге дан анализ ключевых проблем современного состояния тренажеростроения в электроэнергетике. Рассмотрены методологические проблемы математического моделирования и создания учебно-тренажерных комплексов и полигонов.

Книга предназначена для широкого круга специалистов, отвечающих за решение задач модернизации, создание и эксплуатацию современных АСУТП на базе программно-технических комплексов сетевой иерархической структуры, а также может быть использована студентами, преподавателями и аспирантами, желающими повысить свою квалификацию.

Табл. 3. Ил. 38. Библиогр.: 93 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»

Рецензенты: чл.-корр. РАН, доктор технических наук, профессор А.Ф. Дьяков;  
кафедра систем управления ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина»

Авторы: *Тверской Ю.С., Демьяненко В.А., Голубев А.В., Копсов А.Я.,  
Никоноров А.Н., Новиков С.И., Рубашкин А.С.*

ISBN

ISBN

© Ю.С.Тверской, 2013

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ОБЩЕЕ ПРЕДИСЛОВИЕ К МОНОГРАФИИ</b> .....	7
<b>СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ</b> .....	13
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> к книге 3.....	16

### **ЧАСТЬ ШЕСТАЯ**

#### **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

#### **И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ЭНЕРГЕТИКЕ** ..... 19

<b>ГЛАВА 18. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ УЧЕБНО-ТРЕНАЖЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ</b> .....	21
<i>18.1. Концептуальные подходы построения учебно-тренажерных комплексов</i> .....	21
<i>18.2. Методологические принципы построения учебно-тренажерных комплексов</i> .....	34
<i>18.3. Ключевые требования</i> .....	36
<i>18.4. Требования к реализации управляющей подсистемы и подсистемы инструктора в составе учебно-тренажерного комплекса энергоблока ПГУ-325 (проект)</i> .....	39
<i>18.5. Краткое резюме</i> .....	41

<b>ГЛАВА 19. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ОПЫТ РАЗРАБОТОК КОМПЬЮТЕРНЫХ СРЕДСТВ ТРЕНАЖЕРНОЙ ПОДГОТОВКИ В ЭНЕРГЕТИКЕ</b>	
<i>19.1. О специфике и технологиях моделирования процессов энергоблоков тепловых электростанций</i> .....	42
<i>19.2. Анализ особенностей разработки компьютерных тренажеров, применяемых на практике</i> .....	48
<i>19.3. Состояние дел в мировом тренажеростроении</i> .....	60
<i>19.4. Пример использования модели котла БКЗ-420-140 при подготовке специалистов по автоматизации теплоэнергетических процессов</i> .....	63
<i>19.5. Методологические особенности объективного моделирования режимов работы тепловых электростанций</i> .....	72
<i>19.6. Краткое резюме</i> .....	79

## ГЛАВА 20. ТЕХНИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПОЛИГОНОВ АСУТП ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

20.1. К вопросу о концептуальной структуре полигона АСУТП электростанций .....	82
20.2. Обобщенная техническая структура полигона АСУТП электростанций .....	85
20.3. Общая характеристика многофункционального учебно-исследовательского комплекса «Полигон АСУТП электростанций» .....	89
20.4. Анализ требований к математическому обеспечению полигонов АСУТП электростанций .....	96
20.5. Краткое резюме .....	100

## ГЛАВА 21. ТЕХНОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОЛИГОННЫХ АСУТП ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ (опыт разработки)

21.1. Этапы технологии построения многофункциональных полигонных АСУТП электростанций .....	101
21.2. Исследование способов реализации имитационных моделей ТОУ в составе полигонных АСУТП электростанций .....	106
21.3. Опыт разработки полигонной АСУТП пылеугольного барабанного котла .....	114
21.4. О состоянии разработки учебно-тренажерного центра автоматизированных парогазовых установок тепловых электростанций (УТЦ ПГУ ТЭС) .....	138
21.5. Краткое резюме .....	154

ВЫВОДЫ ПО ШЕСТОЙ ЧАСТИ .....	155
------------------------------	-----

Библиографический список к части шестой .....	158
---	-----

## **ЧАСТЬ СЕДЬМАЯ**

<b>ЖИЗНЬ КАК ОНА ЕСТЬ .....</b>	<b>167</b>
---------------------------------	------------

ГЛАВА 22. РАО... БРАВО?! .....	169
--------------------------------	-----

ГЛАВА 23. ВМЕСТО ЭПИЛОГА .....	200
--------------------------------	-----

<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>202</b>
-------------------------	------------

***Когда несколько человек  
принимаются бить по наковальне,  
они должны соблюдать очередь.***

*Роберт Фултон (Robert Fulton)*

### **ОБЩЕЕ ПРЕДИСЛОВИЕ К МОНОГРАФИИ**

Монография издается в трех книгах, цель которых состоит, прежде всего, в том, чтобы показать особенности и ключевые наукоемкие аспекты новой технологии создания территориально-распределенных многофункциональных АСУТП на базе ПТК сетевой иерархической структуры<sup>1</sup>.

Современные АСУТП электростанций – это особый класс распределенных многообъектных многофункциональных иерархически построенных систем управления. Развитие теории этого класса систем затрагивает многие известные научные направления в области системного анализа и живучести сложных систем, теории иерархических и многокритериальных систем управления, обобщенного термодинамического анализа. Задача синтеза при этом осложняется высокой размерностью и переопределенностью многомерных многосвязных объектов управления, присутствием фактора неопределенности большинства характеристик в целом нелинейной нестационарной системы, а также действием случайных, как правило, неконтролируемых возмущений и значительным числом параметров, недоступных для непосредственного измерения.

---

<sup>1</sup> В монографии обобщаются результаты исследований, полученные за последние 10 -15 лет на кафедре систем управления Ивановского государственного энергетического университета (ИГЭУ). Для представления всей полноты проблематики поднимаемых задач теории и технологии создания сложных систем управления ряд ведущих специалистов страны предоставили дополнительные материалы в соответствующие разделы книги. Наукоемкие разделы технологии развиваются также в книгах и учебных пособиях ([26, ч.2], [16-19, ч.4], [37,42,46,50, ч.5], [68-70,83, ч.6]), вышедших ранее отдельными изданиями.



Книга предназначена для читателей с различной подготовкой. Во-первых, для тех, кто имеет значительный инженерный опыт, хорошо разбирается в традиционных системах контроля и управления и отвечает за решение задач модернизации и создания АСУТП. Во-вторых, для руководителей проектов АСУТП, которым нужна общая картина технологии создания сложных систем без углубления в специальные вопросы теории компьютерного управления. В-третьих, для студентов старших курсов и аспирантов в качестве пособия по аналогичной дисциплине учебного плана.

Книга будет также весьма полезна для специалистов по вычислительной технике и программной инженерии, обеспечивающих разработку программно-технических комплексов и их эксплуатацию в системообразующей структуре АСУТП электростанции.

Настоящий этап развития науки и техники характеризуется ростом уровня требований к качеству и точности создаваемых сложных систем управления, их надежности, стоимости, габаритам. При этом исключительно важную роль играют технология и методологические основы создания сложной системы, определяющие сроки разработки системы, трудовые и материальные затраты, обеспечение гарантированного качества и надежности автоматизированного объекта с длительным сроком жизненного цикла.

Суть новой технологии заключается в последовательном (итерационном) выполнении различных этапов формирования описаний системы, **необходимых и достаточных**<sup>2</sup> для изготовления АСУТП и обеспечения гарантированного функционирования автоматизированного объекта. Известно, что несоблюдение технологической дисциплины ведет к тому, что «...ошибки, каждая из которых в отдельности не страшна, накапливаются. Но вот их накапливается много, слишком много. И создается критическая масса. Тогда-то и происходят катастрофы: на атомной станции, на борту самолета или в личной жизни одного человека»<sup>3</sup>.

---

<sup>2</sup> Достаточность описаний может быть определена, как показывает опыт, только на этапе ввода и последующей эффективной эксплуатации системы.

<sup>3</sup> В.А. Лерасов.

Развиваемая технология обеспечивает неразрывность процесса создания сложной системы на стадиях предконтрактных работ, функционального, конструкторского и технологического проектирования и ввода системы в действие с обеспечением методологической поддержки соответствующими инструментальными средствами автоматизации на всех этапах производства работ и последующей эксплуатации.

**Книга первая** «Проблемы и задачи» содержит две части.

*Первая часть*<sup>4</sup> посвящена анализу современных проблем электроэнергетики и состояния развития многофункциональных АСУТП тепловых электростанций.

В первой главе дается краткий анализ результатов реформирования электроэнергетики, направления и задачи ее перспективного развития.

Проблемы практики построения, теории и технологии АСУТП электростанций, оценки экономической эффективности результатов автоматизации излагаются во второй, третьей и четвертой главах первой книги.

*Во второй части книги*<sup>5</sup> рассмотрены технологические особенности получения решения основной задачи, стоящей перед заказчиком: «*Что и как надо сделать?*», дабы избежать ошибок и недоразумений, возникающих уже на начальной стадии создания АСУТП в результате неоднозначного представления о будущей системе различными специалистами. Ключевыми задачами на этой стадии разработки являются:

- формирование технического облика АСУТП (разработка концепции);
- принятие решения по выбору фирмы-поставщика системообразующего ПТК;
- оценка рыночной стоимости АСУТП.

**Книга вторая** «Проектирование» состоит из трех частей.

*Третья часть книги*<sup>6</sup> посвящена решению задач стадии функционального проектирования, в результате которого формируются общесистемные технические решения по АСУТП энергоблока и электростанции в целом как объекта генерации.

---

<sup>4</sup> Главы 1 – 4.

<sup>5</sup> Главы 5 – 6.

<sup>6</sup> Главы 7 – 11.

Основное содержание работ этой стадии связано с разработкой алгоритмов реализации функций АСУТП (автоматическое регулирование, функционально-групповое логическое управление и др.). Именно алгоритмы реализации этих функций (схемные решения, логические программы) являются главным фактором, определяющим функционально-алгоритмическую структуру АСУТП и ее эффективность.

В этой части книги впервые изложены теоретические основы и результаты использования обобщенного термодинамического анализа для оценки эффективности синтезируемых структурных решений САУ и обоснования информационного масштаба технологических объектов управления, рассматриваются начала развития методов нечеткого и адаптивного с эталонными моделями управления.

Проблема апробации сложных функций диагностирования и управления связывается с отработкой и предварительной приемкой алгоритмов и соответствующего прикладного программного обеспечения на ранних стадиях проектирования средствами специально создаваемых полигонов.

*В четвертой части книги*<sup>7</sup> рассмотрены проблемы синтеза технической структуры АСУТП (стадия конструкторского проектирования).

В этой части показано, как на основе результатов функционального описания сложной системы с помощью средств автоматизированных технологий проектирования АСУТП решается задача создания рабочей документации. Определен состав рабочей документации, вводится понятие единой модели проекта, рассматривается методология автоматизированного формирования документов. Необходимость и достаточность объема рабочей документации, которая обеспечивает сопровождение АСУТП на протяжении жизненного цикла системы, определяется на стадии ввода и опытной эксплуатации АСУТП.

*Пятая часть книги*<sup>8</sup> посвящена наукоемким этапам стадии технологического проектирования, которые включают проведение соответствующих полигонных испытаний сложных алгоритмов, выполнение пусконаладочных работ по вводу АСУТП и автоматизированного оборудования в штатную эксплуатацию.

---

<sup>7</sup> Главы 12, 13.

<sup>8</sup> Главы 14 –16, 17.

Рассмотрены результаты экспертного анализа АСУТП блока ПГУ и некоторые особенности его эксплуатации.

**Книга третья** «Моделирование» представлена в двух частях.

*В шестой части книги*<sup>9</sup> изложены методологические вопросы создания учебно-тренажерных комплексов (многоцелевых полигонов) и компьютерных средств подготовки персонала в энергетике. Предпринята попытка классификации учебно-тренажерных средств подготовки специалистов, в том числе оперативного персонала. Рассмотрены особенности современных подходов разработки высокоточных математических и имитационных моделей процессов энергоблоков тепловых электростанций.

*Седьмая завершающая часть книги*<sup>10</sup>, традиционно названная «Жизнь как она есть», в настоящем издании представлена поэмой Владимира Демьяненко «РАО... БРАВО?!», комментарий к которой представляется излишним.

И на философский вопрос (вместо эпилога): «*Учёный наш пафос... он разве утрачен?*», определенно можно сказать: «*Не утрачен!*». Растет достойная смена молодых ученых и специалистов в области современных АСУТП, и «... *нам не надо билета!*» в поезд, частичкой локомотива которого мы себя ощущаем.

**В заключении** сформулирована основная направленность настоящей книги – попытка интегрированного взгляда на проблемы сложных систем управления, технологии их создания в целях устранения отставания теоретических положений от уровня практических разработок современных АСУТП электростанций.

Особенностью книги является возможность ее чтения, начиная с любой страницы, точнее – с раздела, в котором излагается материал, интересующий в данный момент читателя. При этом каждая часть книги сопровождается списком литературы, которая может быть полезной для дополнительного изучения рассмотренных вопросов.

Идея книги по методологии сквозного проектирования сложных систем управления возникла, по-видимому, достаточно давно. Я полагаю, что она сформировалась под влиянием лек-

---

<sup>9</sup> Главы 18 – 21.

<sup>10</sup> Глава 22.

ций профессора Н.М. Тищенко (МАИ, 1976 г.) [49, ч.1]. Во всяком случае, практически все работы, выполненные мной и моими учениками за последние четверть века, так или иначе связаны с развитием и внедрением в практику «сквозной» методологии на всех стадиях технологии создания АСУТП электростанций. На кафедре систем управления ИГЭУ более 15 лет читается курс лекций по аналогичной дисциплине, интегрирующей полученные студентами знания. Пользуясь случаем, выражаем искреннюю благодарность председателям ГАК В.А. Демьяненко, А.Я. Копсову и М.А. Алексееву за многолетнюю поддержку научных исследований, учебного процесса и контроль качества подготовки выпускаемых специалистов по направлению «Управление в технических системах».

В написание и подготовку содержательных материалов настоящего издания внесли свой вклад большое число профессиональных специалистов электростанций, проектных и инженеринговых компаний<sup>11</sup>. Всем им выражаем глубокую благодарность за предоставленные материалы и помощь в издании книги.

Особая благодарность рецензентам чл.-корр. РАН, доктору технических наук, профессору А.Ф. Дьякову и коллективу кафедры систем управления ИГЭУ.

Задача написания книги такого большого объема оказалась чрезвычайно сложной и трудоемкой. Возникающие трудности не всегда удавалось преодолеть наилучшим образом. Читатели, вероятно, смогут высказать замечания и дать свои предложения.

Заранее признателен всем, кто не сочтет за труд указать на замеченные неточности, возможные ошибки. Все замечания будут восприняты с признательностью<sup>12</sup>.

**Ю.С. Тверской**  
*доктор технических наук, профессор,  
академик Академии инженерных наук им. А.М. Прохорова*

---

<sup>11</sup> См. соответствующие сноски по тексту глав и параграфов.

<sup>12</sup> Замечания просим направлять на электронный адрес: [tverskoy@su.ispu.ru](mailto:tverskoy@su.ispu.ru).

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

---

*Определите значения слов,  
и вы избавите человечество  
от половины его заблуждений.*

*Р. Декарт*

### СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АВР	– автоматическое включение резерва
АВРЧ	– автоматическое вторичное регулирование частоты
АВСН	– автоматическое выделение собственных нужд
АДЗ	– анализ действия защит
АИИС КУЭ	– автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учета электроэнергии
АПВ	– автоматическое повторное включение
АРМ	– автоматизированное рабочее место
АРН	– автоматическое регулирование напряжения
АРЧМ	– автоматическое регулирование частоты и активной мощности
АСДУ	– автоматизированная система диспетчерского управления
АСО	– автоматизированная система обучения
АСР	– автоматическая система регулирования
АСУТП	– автоматизированная система управления технологическим процессом
АЦП	– аналого-цифровой преобразователь
АФЧХ	– амплитудно-фазо-частотная характеристика
АЭС	– атомная электрическая станция
БД	– база данных
БВД	– барабан высокого давления
БНД	– барабан низкого давления
БРОУ	– быстродействующая редуционно-охладительная установка
БЩУ	– блочный щит управления

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

---

ВД	– высокое давление
ГеоТЭС	– геотермальная тепловая электростанция
ГПСЧ	– генератор пар случайных чисел
ГРЭС	– государственная районная электростанция
ГТ	– газовая турбина
ГТУ	– газотурбинная установка
ДКС	– дожимная компрессорная станция
ДУ	– дистанционное управление
ДЦП	– дискретно-цифровой преобразователь
ИВК	– информационно-вычислительный комплекс
ИВС	– информационно-вычислительная система
ИВЫ	– информационный вывод
К	– компрессор
КТЦ	– котлотурбинный цех
КЧХ	– комплексная частотная характеристика
КУ	– котел-утилизатор
КЭН	– конденсационный электронасос
НД	– низкое давление
НПРЧ	– нормированное первичное регулирование частоты
НТД	– нормативно-техническая документация
ОГК	– оптовая генерирующая компания
ОДУ	– обыкновенное дифференциальное уравнение
ОС	– операционная система
ОУ	– объект управления
ПА	– противоаварийная автоматика
ПВД	– подогреватель высокого давления
ПГУ	– парогазовая установка
ПДК	– предельно допустимая концентрация
ПИД	– пропорционально-интегрально-дифференциальный
ПНД	– подогреватель низкого давления
ПО	– программное обеспечение
ППО	– прикладное программное обеспечение
ПСБУ	– пускосбросное устройство
ПСУ	– питатель сырого угля
ПТ	– паровая турбина
ПТК	– программно-технический комплекс
ПЭН	– питательный электронасос

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

---

РВ	– реальное время
РЗ	– релейная защита
РИМ	– регулятор импульсный
РК	– регулятор корректирующий
РОУ	– редуционно-охладительная установка
РС	– регулятор стабилизирующий
СКО	– среднеквадратическое отклонение
СКУ	– система контроля и управления
СН	– собственные нужды
Т1П	– тренажер первого поколения
Т2П	– тренажер второго поколения
Т3П	– тренажер третьего поколения
ТОУ	– технологический объект управления
ТУ	– технические условия
ТЭП	– технико-экономические показатели
ТЭС	– тепловая электростанция
ТЭЦ	– теплоэлектроцентраль
УО	– управляющий объект
УСО	– устройство связи с объектом
ФАО	– формирователь аналоговый объектный
ХРО	– ход регулирующего органа
ЦАП	– цифроаналоговый преобразователь
ЦДП	– цифродискретный преобразователь
ЦИП	– цифроимпульсный преобразователь
ЭВМ	– электронная вычислительная машина
ЭЦ	– электрический цех



***Легче заранее предотвратить опасность,  
чем следить за ее развитием, постоянно  
принимая меры предосторожности.***

*Фрэнсис Бекон (Francis Bacon, 1561-1626)*

## **ВВЕДЕНИЕ к книге 3**

Важной особенностью современного автоматизированного энергоблока и электростанции является возложение на многофункциональную АСУТП системообразующих функций. Системный фактор объективно привел к революционному изменению общей технологии создания и эксплуатации АСУТП, определил качественно новое место оперативного персонала в структуре человеко-машинной системы.

Современная технология создания АСУТП на базе ПТК представляется в виде сквозной итерационной последовательности работ на стадиях функционального, конструкторского и технологического проектирования сложной системы (рис. В1.1). Выделенные наукоёмкие элементы технологии показывают, что эффективность конечных результатов во многом связана с профессиональной подготовкой специалистов на всех стадиях выполнения работ, а также используемыми при их подготовке кибернетическими средствами обучения.

Ключевой фактор, который характеризует качественный уровень средства подготовки, прежде всего, определяется полноценностью разрабатываемых математических моделей моделируемого тепломеханического оборудования и процессов управления, реализуемых в информационно-технической среде реального ПТК. Это, во-первых, требование к базовой теоретической основе, которая должна позволять создавать всережимные (нелинейные) динамические модели высокой точности, используя, прежде всего, данные заводов-изготовителей.

Во-вторых, – требование обеспечения адекватности математических моделей, поскольку только количественная мера

# ВВЕДЕНИЕ к третьей книге

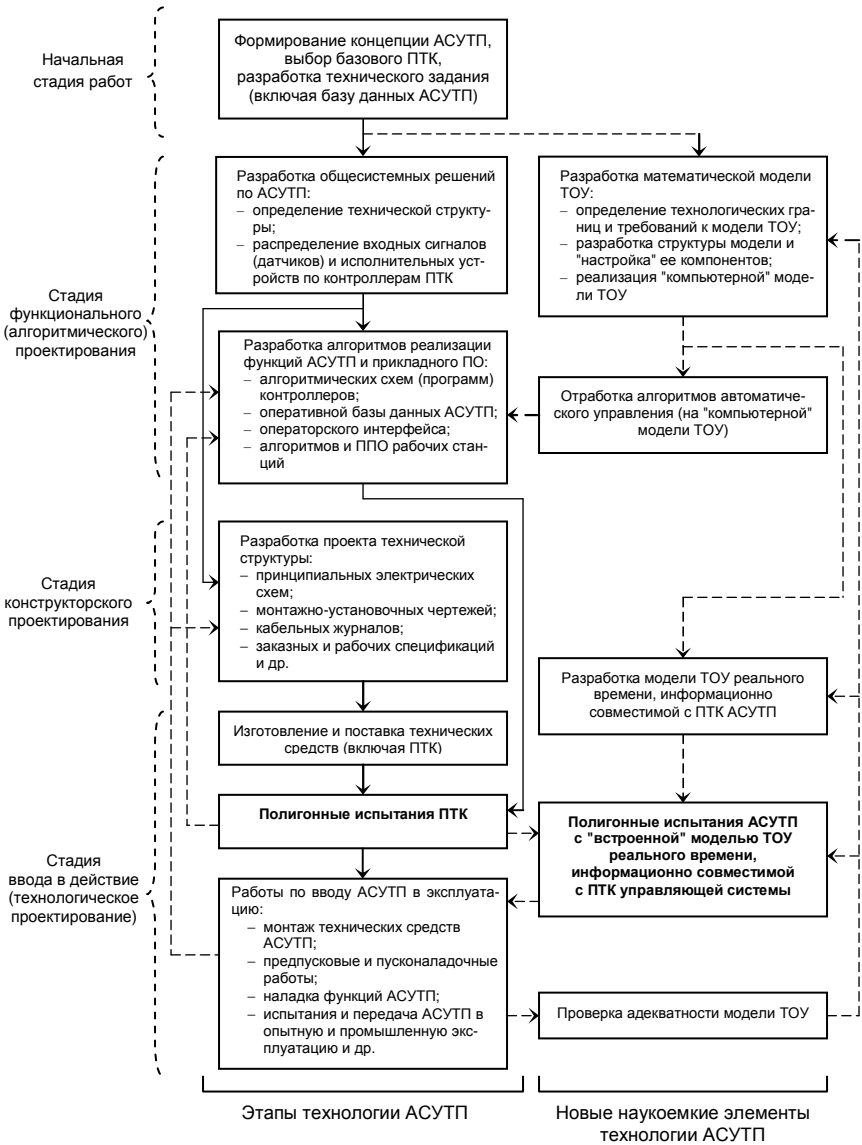


Рис. В1.1. Технология создания АСУТП на базе ПТК сетевой структуры

(адекватность) и качественная оценка соответствия (верификация) в условиях постоянно имеющейся эксплуатационной неопределенности, а также разного рода принимаемых допущений, позволяют гарантировать достоверность получаемых результатов.

Проблема оценки адекватности математических моделей определяется особенностью концептуальной схемы решения задачи (парадигма), которая заключается в том, что оценка меры адекватности математической модели может быть получена только путем привлечения результатов экспериментальных исследований, т.е. – результатов идентификации технологического оборудования как объектов управления на стадии его эксплуатации.

В первой и второй книгах монографии мы обращали внимание на особенности построения высокоточных математических моделей технологических объектов в аспекте применения этих моделей для решения задач управления в структуре многофункциональной АСУТП. В третьей книге проблема математического моделирования рассматривается с различных позиций современного тренажеростроения.

Необходимость непрерывной подготовки эксплуатационного персонала всегда регламентировалась основополагающим нормативным документом «Правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации»<sup>1</sup>, который, совершенно очевидно, должен быть обязательным для всех участников электроэнергетического производства.

В настоящей книге мы не затрагиваем вопросы проявления «человеческого фактора» в техногенных системах, а обращаем внимание на проблемы и факторы создания полноценных средств подготовки и обучения, которые минимизировали бы вероятность проявления этого фактора при эксплуатации энергетических объектов.

---

<sup>1</sup> Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации / М-во топлива и энергетики РФ, РАО «ЕЭС России»: РД 34.20.501-95. – 15-е изд., перераб. и доп. – М.: СПО ОРГРЭС, 1996. – 288 с.; СО 153-34.20.501-2003. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. – М.: СПО ОРГРЭС, 2003. – 320 с.

*Компьютеры ненадежны,  
но люди еще ненадежнее.*

*Закон ненадежности Джилба  
Артур Блох «Законы Мэрфи»*

## **ЧАСТЬ ШЕСТАЯ**

---

# **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ЭНЕРГЕТИКЕ**



*Кто знает меру,  
у того не будет неудачи,  
кто знает предел, тот не подвергает себя  
опасности.*

*Лаоцзы*

## **ГЛАВА 18. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ УЧЕБНО-ТРЕНАЖЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ**

### **18.1. Концептуальные подходы построения учебно-тренажерных комплексов<sup>1</sup>**

#### ***18.1.1. Предварительные замечания***

Подготовка эксплуатационного персонала регламентируется основополагающим нормативным документом «Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации» (ПТЭ). Практически во всех редакциях ПТЭ<sup>2</sup> указывается, что на энергообъектах должна проводиться постоянная работа с персоналом, направленная на обеспечение его готовности к выполнению профессиональных функций и поддержание соответствующего уровня его квалификации.

Необходимость непрерывной подготовки эксплуатационного персонала электростанций (в процессе производства электроэнергии задействованы специалисты различных специальностей, включая машинистов котлов и турбин, электриков, химиков, специалистов АСУТП и др.) была осознана в 60-70-х годах

---

<sup>1</sup> Ю.С. Тверской.

<sup>2</sup> РД 34.20.501-95. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. 15-е изд., перераб. и доп.– М., 1996; СО 153-34.20.501-2003. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации: Утв. Приказом Минэнерго РФ от 19 июня 2003 г. N 229. – М., 2003.

прошлого века. В те годы были созданы первые в стране учебно-тренажерные центры (УТЦ) при Трипольской ГРЭС, Конаковской ГРЭС, Пермской ГРЭС. Последним в СССР запроектированным, но так и не введенным, к сожалению, в действие был учебно-тренажерный центр Экибастузской ГРЭС-1 (Казахстан), ориентированный на пылеугольные энергоблоки 500 МВт с котлами типа П-57-3, П-57Р с топками для сжигания низкосортных углей по схеме прямого вдувания.

Анализ ретроспективы разработок учебно-тренажерных комплексов в энергетике за последние 50 лет позволяет выделить укрупненные этапы становления этой новой наукоемкой отрасли.

### *Важная предыстория*

Создание динамических математических моделей теплоэнергетического оборудования своими истоками восходит к началам теории автоматического регулирования, трудам И.А. Вышнеградского и А. Стодоль.

*И.А. Вышнеградский (1876) выполнил первое теоретическое обоснование метода расчета паровых котлов при решении задачи о скорости изменения давления в барабане котла при изменении его нагрузки. Далее, рассматривая систему дифференциальных уравнений паровой турбины и центробежного регулятора скорости, И.А. Вышнеградский аналитически получил **совместное** решение системы уравнений, что позволило впервые изучить уравнение процесса регулирования (**уравнение движения замкнутой динамической системы**) и вскрыть проблему устойчивости паровых турбин.*

*А. Стодоль (1895) показал, что эффективность усовершенствованного центробежного регулятора Сименса (изобретен в 1845 г.) с плоским измерителем определяется его реакцией не только на отклонение угловой скорости, но и на отклонение углового ускорения (Кориолисово ускорение). Иными словами, он теоретически обосновал эффективность введения в закон регулирования скорости паровой турбины дополнительного воздействия по производной **путем совме-***

***стного рассмотрения системы дифференциальных уравнений объекта и регулятора.***

*Таким образом, нетрудно видеть, что уже в конце XIX в. было строго доказано, что для понимания динамических процессов в управляемой системе необходимо совместное рассмотрение модели объекта управления и его управляющей части как единого целого, называемого системой управления.*

Из этого следует и другой вывод о критериях адекватности моделей автоматизированного оборудования<sup>3</sup>: критерий близости модели объекта к реальному объекту следует рассматривать и формулировать с учетом особенностей контроллерной части АСУТП. Именно поэтому все разработки тренажерных комплексов непрерывных динамических объектов, будь то компьютерная программа, виртуальные или физические средства имитации, выполненные без учета управляющих частей, нельзя признать адекватными и рекомендовать для полноценной подготовки оперативного персонала ТЭС. Определяющим при этом служат конкретные цели и задачи использования разрабатываемого тренажерного изделия.

*Полунатурные тренажеры (1965 – 1995)<sup>4</sup>*

Полунатурные<sup>5</sup> тренажеры представляют собой некоторое подобие рабочего места оператора с моделью технологического объекта, реализованной аналоговыми, а позднее компьютерными средствами. Со временем эти тренажеры стали обеспечивать практически полное подобие рабочего места оператора (например, точная копия БЦУ энергоблока).

*Преимуществом* полунатурных тренажеров является достаточно высокое приближение условий работы оператора к реальным. Такого рода тренажеры до сих пор успешно работают

---

<sup>3</sup> В.Я. Ротач Теория автоматического управления: Учебник для вузов. 5-е изд. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 396 с.

<sup>4</sup> Здесь и далее временной период указан для общей ориентировки.

<sup>5</sup> Часто называют полномасштабными. В настоящей книге термин «полномасштабный» отнесен к системам, моделирующим теплотехническое и электротехническое оборудование как единое целое.



## ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

---

на энергоблоках АЭС, а также в учебных центрах, в частности в УТЦ ИГЭУ при подготовке специалистов-энергетиков.

*Недостатками* полунатурных тренажеров крупных энергетических объектов принято считать большой объем аппаратных средств, ограниченность модельной части оборудования и высокую стоимость.

### *Компьютерные тренажеры (1980 – 1995 – н.в.)*

Развитие СВТ и информационных технологий, методов компьютерной анимации привело к развитию интерактивных систем в виде автоматизированных систем обучения (АСО) на базе ЭВМ и впоследствии компьютерного направления в тренажеростроении.

Компьютерный тренажер изначально представлял собой программу для ЭВМ, реализующую модель технологического объекта и имитирующую некоторые средства контроля и управления (например, путем отображения на экране компьютера внешнего вида пультов, панелей, мнемосхем БЩУ со средствами управления, контрольно-измерительными приборами и ключами управления на БЩУ).

Компьютерные тренажеры прошли несколько стадий<sup>6</sup> своего развития. В настоящее время сравнительно дешевые программные средства (компьютерные программы) подготовки персонала, как правило, называемые *компьютерными тренажерами*, получили достаточно широкое распространение.

*Преимуществом* реализации компьютерных моделей (тренажеров) является компактность и оперативность развертывания тренажерного средства, большие возможности по сложности и информационному масштабу реализуемых имитационных моделей технологических объектов управления, возможность использования в различных аспектах (машиностроительном, эксплуатационно-режимном, оптимизационном, адаптивного управления, интеллектуального автоматического управления и др.).

---

<sup>6</sup> Выделяют три поколения компьютерных моделей оборудования (тренажеров). См. гл. 19.

## ГЛАВА 18. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ УЧЕБНО-ТРЕНАЖЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ

---

Современные информационные технологии построения компьютерных моделей позволяют воспроизводить достаточно сложные режимы работы котла, турбины, блока и ТЭС (технология построения моделей является, как правило, интеллектуальной собственностью разработчика).

*Недостатки* компьютерных тренажеров связаны с проблемами адекватного воспроизведения операторского интерфейса в системообразующей структуре распределенных многофункциональных АСУТП (сетевых средств и контроллеров ПТК, фирменного и прикладного ПО, блоков УСО, полевых элементов системы), которые оказывают существенное влияние на автоматизированное управление оборудованием.

*Многоцелевые полигоны (1985 – 1995 – 2001 – н.в.)*

Модернизация традиционных систем контроля и управления (СКУ) путем внедрения многофункциональных АСУТП на базе программно-технических комплексов (ПТК) сетевой иерархической структуры потребовала нового подхода к построению учебно-тренажерных комплексов как многоцелевых полигонов.

Первые многоцелевые полигоны были ориентированы на решение проблемы отработки алгоритмов сложных всережимных систем управления, но при этом в обязательном порядке использовались для обучения и подготовки эксплуатационного персонала<sup>7</sup>.

Многоцелевые полигоны как учебно-тренажерные комплексы отличаются тем, что подсистема управления строится на основе базового ПТК АСУТП, а модель объекта «погружается» в среду ПТК (например, реализуется отдельной группой специальных компьютеров моделирования).

*Главным преимуществом* многоцелевых тренажеров является адекватное воспроизведение условий работы оператора в системообразующей структуре АСУТП.

Кроме того, использование в тренажере физического (реального) ПТК позволяет, во-первых, синхронизировать реальное

---

<sup>7</sup> Тверской Ю.С. Автоматизация котлов с пылесистемами прямого вдувания. – М.: Энергоатомиздат, 1996. – 256 с.

## ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРGETИКЕ

---

время и, что особенно важно, частотные свойства каналов регулирования. Во-вторых, обучать не только оперативный персонал (вахту в полном составе), но и специалистов по эксплуатации и сопровождению (развитию) АСУТП, отрабатывать сложные функции автоматизированного управления, что и дает основание называть тренажеры этого типа – многоцелевыми.

*Недостатки* многоцелевых тренажеров до последнего времени проявлялись в ограничениях модельной части, связанной с неразвитостью средств ПТК и АСУТП по моделированию сложных объектов. При этом расширенная аппаратная часть (идеальное решение – это 100 % использование верхнего уровня АСУТП) существенно увеличивает стоимость технического решения.

Разработка и освоение в последние 3–5 лет компьютерных моделей микропроцессорных контроллеров ПТК («виртуальных контроллеров»), которые функционально идентичны физическим средствам, позволяют получить сбалансированное по объему аппаратных и виртуальных средств техническое решение.

На реальной аппаратуре реализуется базовый набор типовых, в том числе полевых, элементов, достаточный для оценки адекватности математических моделей в частотной области работы АСР, а также получения навыков работы с техническими средствами автоматизации («полевой» уровень) и программно-аппаратной частью ПТК АСУТП.

*Обозначенные выше три направления* тренажеростроения в энергетике развивались до недавнего времени отдельными группами специалистов практически монополярно, обособленно друг от друга по принципу «делаю, как могу», определяя, таким образом, уровень создаваемого наукоемкого изделия. При этом разного рода дискуссии на предмет принимаемых допущений и упрощений математических моделей отражают лишь уровень достигнутых возможностей и имеющегося опыта конкурирующих фирм на рынке отрасли в целях продажи своих изделий некавалифицированному заказчику, загнанному в рамки наспех разработанных и устаревших к настоящему времени известных нормативных документов.

С созданием «виртуальных контроллеров» в настоящее время явно просматривается возможность определенной интеграции выделенных подходов (направлений) развития тренажерных комплексов с естественной целью устранения изъянов коммерческих разработок, активно продвигаемых на рынок (пользователям) фирмами.

### ***18.1.2. Факторы теории и технологии АСУТП, существенные для решения задач тренажеростроения***

***Распределенность*** системы управления связана с технологической рассредоточенностью объекта управления, топологией энергоблока и ТЭС.

При этом, если рассредоточенность объекта (его топология) существенна для организации управления, то далее следует требование распределенности математической модели (в виде дифференциальных уравнений с распределенными параметрами), системная распределенность технической и функциональной структур.

***Многофункциональность*** системы управления связана с необходимостью реализации большого числа типовых функций контроля и предупредительной сигнализации, автоматического регулирования, логического автоматизированного управления, аварийного автоматического управления, а также новых сложных функций диагностирования, оптимизации, имитационного моделирования и др.

***Иерархичность*** построения сложной системы управления – следствие многообъектности, рассредоточенности и многофункциональности.

***Сложность*** систем управления определяется большим числом контролируемых и управляемых параметров, а также многомерностью, многосвязностью и переопределенностью локальных объектов и процессов.

Большой информационный масштаб системы определяет трудности синтеза оперативного контура, технической структуры в целом и высокую стоимость системы. Поэтому ***задача обособленного выбора координат локальных объектов управления и информационного масштаба системы, соответ-***

***ственно, тренажерного комплекса представляется актуальной и необходимой.***

Требует определенного развития разработка методологии синтеза и анализа иерархической технической и функциональной структур АСУТП путем выделения соподчиненных уровней иерархии принятия решений и согласования локальных критериев функциональных подсистем.

Теория и методология структурирования сложных многомерных многосвязных переопределенных объектов в соответствии с фундаментальными принципами технической кибернетики и современными достижениями теории управления в целях выделения управляемых параметров и параметров (как правило, нечетких), отнесенных к ограничениям, требуют более глубокого осмысления.

Отсутствие методологии анализа системных решений АСУТП и их независимой экспертизы не позволяет иметь объективной оценки создаваемых сложных систем.

Все вышеизложенное говорит о необходимости избегать тривиальных подходов при обсуждении и решении рассматриваемой задачи создания учебно-тренажерных комплексов автоматизированных энергетических объектов, функционирующих в системообразующей структуре АСУТП на базе ПТК сетевой организации.

С учетом отмеченных выше особенностей известных направлений по существу проблемы создания учебно-тренажерных комплексов автоматизированных энергоблоков, оснащаемых современными АСУТП, возможными представляются следующие подходы к ее решению (рис. 18.1.1).

**1. Подход А** (развитие многоцелевых и полунатурных тренажеров): управляющая система в виде АСУТП, обеспечивающая высокий уровень автоматизации оборудования, принимается в основном идентичной реальной, а подсистема модели объекта должна быть информационно совместима с ПТК (воспринимать от ПТК реальные управляющие сигналы и передавать в ПТК сигналы о состоянии «объекта»).

**2. Подход Б** (развитие компьютерных тренажеров): средства имитации БЩУ и традиционной СКУ в составе компьютер-

ного тренажера «замещаются» моделью современной АСУТП на базе ПТК.

**3. Подход В** (эффективная интеграция на основе многоцелевых и компьютерных тренажеров): управляющая система по «верхнему уровню» ПТК принимается идентичной реальной, а по «нижнему уровню» частично воспроизводит (а частично имитирует) работу реальных алгоритмов контроля и управления.

Компьютерная модель объекта может быть либо выделена из состава компьютерного тренажера, либо разработана с помощью мощных инструментальных средств моделирования сложных динамических систем (модель «погружается» в программно-техническую среду ПТК).

Оценивая потенциальные возможности изложенных подходов, необходимо отметить следующее:

– подход А при отсутствии принципиальных трудностей в его реализации потребует установки ПТК в комплектации, близкой к реальной АСУТП (получаемое техническое решение в этом случае будет, по-видимому, довольно громоздким и дорогостоящим);

– подход Б при современном состоянии развития ПТК АСУТП как сложных многоуровневых иерархических цифровых систем представляется труднореализуемым; тем не менее этот подход активно развивается при ограничениях в части СКУ (АСУТП);

– подход В является наиболее предпочтительным с учетом имеющегося достаточно большого объема наработок по реализации управляющей системы в виде АСУТП (полигон АСУТП), а также заделов по реализации подсистемы модели объекта.

Таким образом, наиболее целесообразным подходом к созданию тренажерного комплекса автоматизированного энергоблока представляется его реализация как многоцелевого тренажера с совместным использованием физических и виртуальных контроллеров ПТК и высокоточных имитационных (компьютерных) моделей технологического оборудования.

## ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

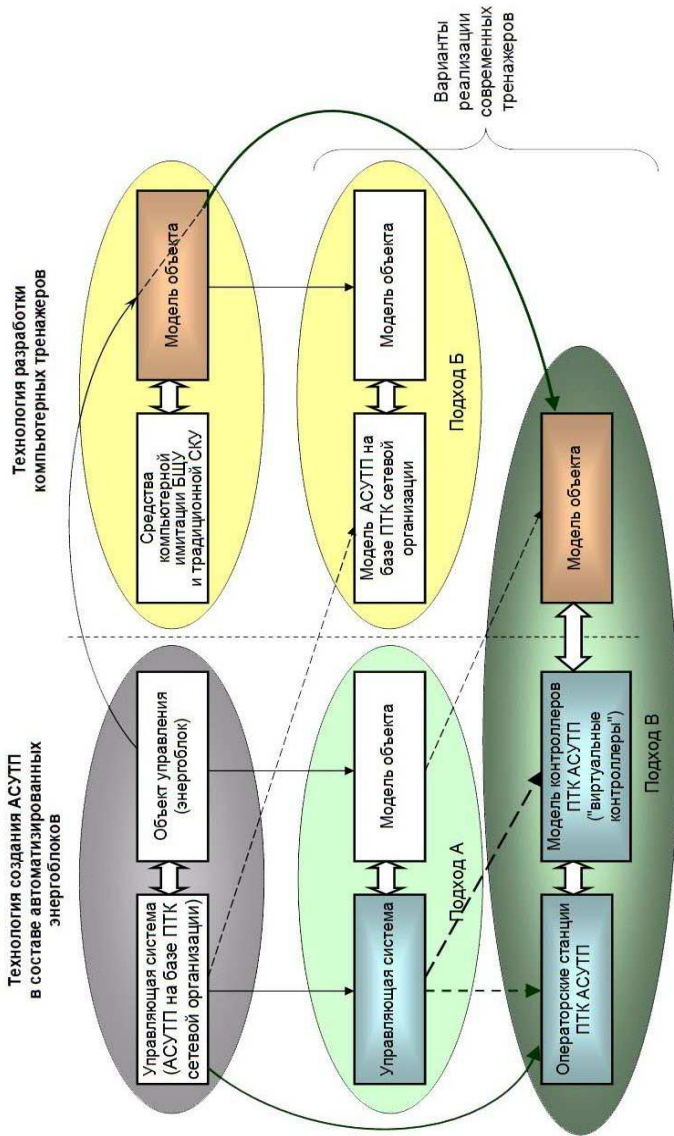


Рис. 18.1.1. Возможные подходы к созданию тренажеров для энергоблоков ТЭС, оснащаемых современными АСУТП:  
 А – подход, основанный на технологии АСУТП;  
 Б – подход, основанный на технологии компьютерных тренажеров;  
 В – подход, основанный на моделировании «нижнего» уровня ПТК АСУТП

**18.1.3. Достижения и проблемы в теории и практике построения нелинейных динамических моделей сложных объектов. Критические факторы**

В основе современной теории построения высокоточных всережимных математических моделей технологических ОУ (ТЭС) лежат фундаментальные законы неравновесной термодинамики (феноменологический подход), позволяющие получать обобщенные распределенные трехмерные нелинейные (всережимные) детерминированные динамические модели и посредством уравнений состояния строить высокоточные математические модели конкретного тепломеханического оборудования.

Однако по ряду объективных трудностей все сегодняшние разработки ограничены на уровне моделей с сосредоточенными параметрами. При этом уравнения состояния формируются, как правило, на основе конструктивных и режимных сведений и проверенных практикой «Нормативных методов...», что позволяет воспроизводить особенности работы конкретных установок в широком диапазоне нагрузок.

Проблемы создания имитационных моделей носят в основном вычислительный характер и связаны с особенностями решения систем жестких нелинейных многопараметрических дифференциальных уравнений высокого порядка в режиме реального времени.

Проблема жесткости снимается, как правило, путем перехода к статическим соотношениям (например, в уравнениях количества движения).

Поскольку математические модели многопараметрические, задача автоматической (автоматизированной) настройки на заданный режим достаточно сложна и представляется одной из актуальных задач, требующих методологической проработки.

В целом работы по созданию общей теории, методологии и технологии построения всережимных высокоточных динамических математических моделей сложных технологических объектов и технических систем управления находятся в стадии незавершенных разработок, которые так или иначе развиваются



## ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

---

коммерческими фирмами-поставщиками тренажерной продукции, а также частично поддерживаются различными грантами<sup>8</sup>.

Проблема, которая требует особого решения, связана с моделированием случайных эксплуатационных возмущений, вносящих существенную неопределенность (размытость) в поведение реальных систем, что особенно актуально для тренажеров пылеугольных энергоблоков ТЭС.

Проблема адекватности компьютерных моделей решается в лучшем случае на уровне нечеткой экспертной верификации. При этом проблема количественной (объективной) оценки меры адекватности моделей как во временной, так и в частотной областях (необходимо обеспечить для систем автоматического регулирования) требует своего методологического развития<sup>9</sup>.

Таким образом, основными критическими факторами создания полноценных тренажерных средств подготовки эксплуатационного персонала могут служить:

**1) фактор учета работы энергоблока в системообразующей структуре АСУТП на базе программно-технических комплексов сетевой иерархической структуры;**

**2) факторы полноты динамических математических моделей реального времени:**

- всережимность,
- мерность (распределенного параметра) и точность,
- адекватность во временной и частотных областях,
- учет реальных эксплуатационных случайных возмущений;

**3) фактор корректности имитационной модели - вычислительные аспекты интегрирования систем дифференциальных уравнений используемых алгоритмических процедур универсальных и/или специальных систем имитационного моделирования;**

---

<sup>8</sup> В 2007–2008 гг. работы кафедры систем управления были, например, поддержаны грантом РФФИ по теме «Развитие методов феноменологической термодинамики для построения высокоточных нелинейных динамических моделей технологических объектов управления с аккумуляцией топлива в каналах формирования потоков топливовоздушных смесей». Проект № 07-08-00360.

<sup>9</sup> Тверской Ю.С. Локальные системы управления. – Иваново, 2011.- 128 с.

4) фактор полномасштабности математической модели – определяется возможностью совместного моделирования тепломеханического (сравнительно медленные процессы) и электротехнического (быстрые процессы) оборудования путем решения проблемы жесткости в среде реального времени распределенной многофункциональной АСУТП.

## 18.2. Методологические принципы построения учебно-тренажерных комплексов<sup>10</sup>

В основу построения современного тренажера энергоблока целесообразно положить следующие методологические принципы эффективной профессиональной подготовки, апробированные многолетним опытом применения в учебном процессе вуза.

1. **Принцип обучения в режиме трудовой профессиональной деятельности**, отличающийся тем, что обучение происходит в процессе выполнения заданной работы путем выполнения *системы только правильных шагов*. Это, очевидно, действия, предусмотренные ПТЭ и инструкциями по безопасной и эффективной эксплуатации технологического объекта с непрерывным характером производства.

2. **Принцип управления обучением**, отличающийся тем, что для реализации системы правильных шагов дополнительно вводят информацию о направлении развития возникающей на объекте ситуации. При этом дополнительная информация вводится путем внешней корректировки либо (в простых случаях) инструктором (учителем, экспертом), которому известен желаемый результат обучения, либо (в многофакторных ситуациях) автоматически путем предоставления обучаемому расчетной (оптимальной) траектории развития процесса (например, информация по оптимальной схеме пуска энергоблока).

Дополнительная информация может быть двухуровневой:  
– быстрой, типа «тепло – холодно»,

---

<sup>10</sup> Ю.С. Тверской.

## ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

---

– развернутой о состоянии прогнозируемых расчетных параметров.

**3. Принцип задания уровня сложности** решаемой задачи путем разделения управляющей (сценарий программы подготовки персонала, методические указания по выполнению задания и проч.) и исполнительной (моделируемая ситуация) функций, отличающийся тем, что уровень сложности программы подготовки персонала реализуют путем:

- 1) независимой корректировки моделируемой ситуации;
- 2) управления качеством работы систем автоматики;
- 3) погружения детерминированной модели ТОО в среду реально действующих случайных эксплуатационных возмущений.

**4. Принцип оценки качества подготовки обучаемого** путем формирования критериальных оценок, отличающийся тем, что критериями оптимальности служат:

- 1) *заданное время*  $T_{э0}$  перевода объекта из одного состояния в другое (например, время пуска котла, турбины, блока, которое соответствует  $\min$  потерь (максимальной экономической эффективности) и связано с исходным начальным состоянием и динамическими свойствами технологического объекта (процесса));
- 2) *интегральная ошибка отклонений* вектора реального процесса от расчетного (теоретически возможного – оптимального).

Концептуальная структура учебно-тренажерного комплекса автоматизированного энергоблока приведена на рис. 18.2.1.

Исходя из вышеперечисленных принципов тренажер автоматизированного энергоблока для подготовки эксплуатационного персонала должен содержать кроме функциональных подсистем модели объекта управления (МОУ) и управляющего объекта (УО), в пересечении которых формируются сигналы о параметрах технологического процесса и состоянии оборудования и управляющие воздействия на оборудование и технологический процесс (полевая зона), подсистемы обучаемого (оперативный контур) и инструктора.

При этом подсистема инструктора должна быть связана с МОУ и УО посредством дополнительных средств управления

## ГЛАВА 18. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ УЧЕБНО-ТРЕНАЖЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ

режимом (ситуацией) МОУ и качеством работы систем автоматизации.

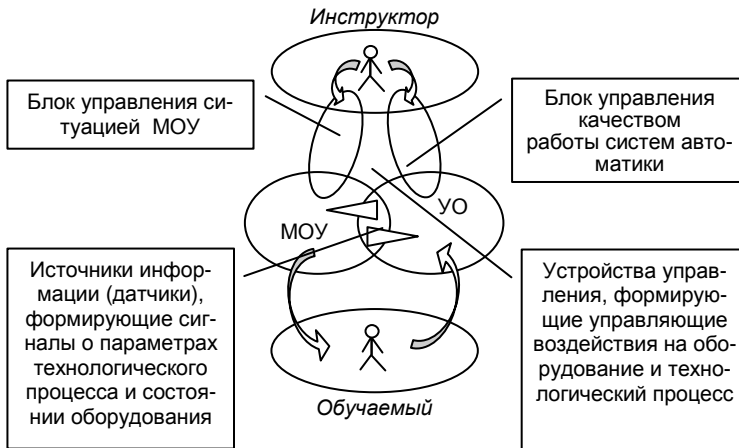


Рис. 18.2.1. Концептуальная структура учебно-тренажерного комплекса автоматизированного энергоблока

### 18.3. Ключевые требования<sup>11</sup>

Технические, программные и методические средства тренажерного комплекса должны потенциально обеспечивать функционирование тренажера энергоблока в соответствии со сформулированными выше принципами эффективной профессиональной подготовки. Это достигается следующими путями:

1) построением всережимной адекватной открытой имитационной (компьютерной) структурированной (с выделением инвариантной и настраиваемой частями) модели технологического процесса с возможностью реализации базовых функций управления, а также предусмотренной возможностью надстройки аналитических моделей реальным полевым оборудованием и

<sup>11</sup> Ю.С. Тверской, А.Я. Копсов

## ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

---

внешнего управления (инструктором, например, для оперативной перенастройки или ввода – задания уровня сложности задачи подготовки);

2) оснащением программно-техническим комплексом с вертикальной и горизонтальной сетевыми иерархическими структурами, имеющими в своем составе виртуальную систему управления с возможностью ее оперативного изменения инструктором. Например, путем задания ситуации того или иного уровня подготовки;

3) параллельным функционированием в режиме реального времени высокоточных математических моделей технологического оборудования и баз знаний;

4) созданием точной копии рабочих мест обучаемого персонала, т.е. базироваться на программно-аппаратных средствах реальной АСУТП и реальных алгоритмах контроля и управления;

5) оснащением общедоступными техническими средствами обучения (видео-, аудио- компьютерными системами), соответствующими учебно-методическими материалами, автоматизированными системами проверки знаний и предварительной подготовки).

Учебно-тренажерный комплекс должен быть конкурентоспособным и иметь патентную защиту, а УТЦ - соответствующие образовательные лицензии.

При этом тренажеры, по-видимому, как и энергоблоки, и автомобили, и корабли, и самолеты могут быть и большими, и маленькими в зависимости от назначения («возить дрова или людей, по шоссе или по болоту»). Но на каждом из них должны быть адекватные устройства управления, приборы и прочие механизмы. Поэтому речь надо вести, прежде всего, о **классификации учебно-тренажерных комплексов для электроэнергетики** и о соответствующих уровнях требований, обеспечивающих достижение заданных целевых функций.

Особенности влияния развертывания учебно-тренажерного центра на проблемы и риски ввода в действие и освоения головных энергоблоков показаны на рис. 18.3.1 применительно к ПГУ-325. Комментарием к представленному плакату могут быть сведения, приведенные во второй книге (гл. 17).

## ГЛАВА 18. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ УЧЕБНО-ТРЕНАЖЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ

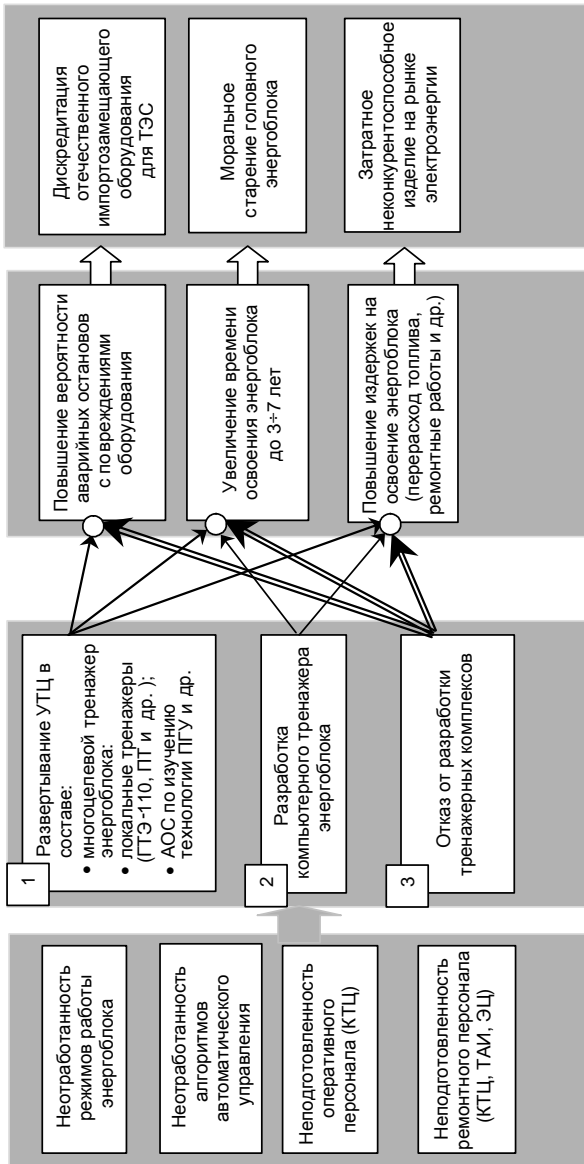


Рис. 18.3.1. Влияние развертывания учебно-тренажерного центра на проблемы и риски ввода в действие и освоения головного энергоблока ПГУ-325

#### **18.4. Требования к реализации управляющей подсистемы и подсистемы инструктора в составе учебно-тренажерного комплекса энергоблока ПГУ-325 (проект)<sup>12</sup>**

Попытка **инновационного прорыва** в области энергетического тренажеростроения путем интегрирования опыта и усилий ведущих групп специалистов была предпринята при реконструкции Ивановской ГРЭС (в настоящее время филиал «Ивановские ПГУ» ОАО «ИНТЕР РАО - Электрогенерация»). В технико-экономическом обосновании (ТЭО<sup>13</sup>) реконструкции станции было предусмотрено строительство первого в современной России учебно-тренажерного центра (УТЦ) для ТЭС с ПГУ (далее УТЦ ТЭС ПГУ).

Эта строка технического задания (ТЗ<sup>14</sup>) на 1-й, а затем на 2-й пусковые комплексы Ивановских ПГУ с обозначенным финансированием<sup>15</sup> сохраняет свою актуальность.

При этом Минобрнауки и Госкомимущество по просьбе заказчика согласовало использование для развертывания УТЦ ПГУ ТЭС инфраструктуры Ивановского государственного энергетического университета (ИГЭУ) как базового вуза подготовки кадров для энергетической отрасли страны. Учитывая территориальную близость Ивановских ПГУ и ИГЭУ, такое решение было поддержано всеми организациями неформального объединения участников планируемого проекта<sup>16</sup>, поскольку оно оптимальным образом реализовало бы требование ПТЭ о привлечении профессиональных кадров и специалистов высшей квалификации для ведения учебного процесса.

---

<sup>12</sup> А.Я. Копсов, Ю.С. Тверской

<sup>13</sup> ОАО «РАО ЕЭС России». Приказ №385 от 27.07.2003.

<sup>14</sup> Техническое задание на пусковой комплекс №2 филиала «Ивановские ПГУ» ОАО «ИНТЕР РАО ЕЭС», пункт 5.2.61.

<sup>15</sup> Сводным сметным расчетом затраты на УТЦ были учтены, протокол №12 от 13.02. 2007 совещания у Председателя Правления ОАО «РАО ЕЭС России».

<sup>16</sup> ЗАО «Интеравтоматика», ЗАО «Тренажеры для электростанций», ЗАО «Сигма технология», ООО «Вестерн Севрисез», ЗАО «Тренажеры электрических станций и сетей», НПО «ЭнергоНаука», ООО НПП «ИНОТЭКС», ОАО «Ивэлектроналадка», ИГЭУ.

Специализированный учебно-тренажерный центр<sup>17</sup> содержит штатный полномасштабный тренажерный комплекс («виртуальный блок»), пилотный (испытательный) тренажерный комплекс и локальные компьютерные средства начальной теоретической подготовки персонала.

**Управляющая подсистема** тренажера, исходя из сформулированных принципов и ключевых требований, должна реализовывать все базовые функции АСУТП блока-прототипа, т.е. реализовывать информационные, управляющие и вспомогательные (сервисные) функции, посредством которых осуществляется управление технологическим процессом.

Функции контроля состояния технологического оборудования (видеограммы), технологической сигнализации, регистрации и архивирования, а также интерфейс функций управления (переключение видеограмм, открытие окон, нажатие кнопок, рецепция и анимация изображений) должны в полном объеме соответствовать функциям блока-прототипа, т.е. рабочие места обучаемого эксплуатационного персонала должны полностью соответствовать рабочим местам персонала реальной АСУТП блока.

Функции контроля, диагностики состояния и регистрации отказов программных и технических средств АСУТП должны быть выполнены в минимально необходимом для обучения объеме и определяться набором наиболее критичных (важных) элементов АСУТП (например, отказы каналов измерения/управления, модулей УСО, контроллеров и др.).

Функции сбора и обработки информации от датчиков, дистанционного управления исполнительными устройствами, автоматического регулирования технологических параметров, технологических защит, блокировок и АВР, автоматического логического управления должны быть также в необходимом для обучения объеме выполнены в полном соответствии функциям АСУТП (уровень контроллеров) блока-прототипа. При этом их объем определяется набором типовых функциональных задач контроля и управления. Остальная часть функций может быть

---

<sup>17</sup> Техническое задание на 2-й пусковой комплекс Ивановских ПГУ (с чьей-то «легкой руки» штатный тренажерный комплекс был назван «блоком № 3» Ивановских ПГУ).



реализована на базе других программно-аппаратных средств («виртуальный контроллер»). Однако при этом их функциональные характеристики должны соответствовать характеристикам функциональных задач АСУТП блока-прототипа.

В составе тренажера должны быть реализованы все типы функциональных задач в полном соответствии с АСУТП блока-прототипа в объеме, достаточном для обучения группы специалистов, состоящей из оперативного и неоперативного персонала (вахты), а также специалистов, выполняющих проектирование и наладку систем автоматизированного управления.

**Подсистема инструктора** предназначена для управления процессом обучения.

Инструктор должен обладать полной информацией о состоянии моделируемого технологического процесса и иметь набор функций, позволяющих влиять на ход обучения (подготавливать и загружать исходные состояния моделируемого объекта, контролировать действия обучаемых и т.д.).

Подсистема инструктора должна обеспечивать возможность независимого управления как ситуацией моделируемого процесса, так и качеством работы систем автоматики. При этом независимое управление ситуацией должно сопровождаться многоступенчатой функцией справки путем введения в систему дополнительной (избыточной) информации о направлении развития возникающей на объекте ситуации и о реакции системы типа «тепло – холодно».

Подсистема инструктора должна обеспечивать возможность корректировки инструктором, которому известен желаемый результат обучения, сложности решаемой задачи для разных категорий обучаемых, а также возможность автоматического изменения сложности решаемой задачи путем предоставления обучаемому расчетной траектории движения по оптимальному ведению того или иного режима энергоблока. Например, пуска из различных тепловых состояний, останова оборудования.

Подсистема инструктора также должна обеспечить анализ результатов тренировок с оценкой качества ведения процесса обучения путем сравнения расчетного и фактического процессов, формирования интегральной ошибки отклонений вектора факти-

ческого и прогнозируемого процессов и контроля времени выполнения операции как обобщенного критерия эффективности.

### **18.5. Краткое резюме<sup>18</sup>**

1. Качественные изменения в управлении функционированием энергоблока как сложного автоматизированного объекта путем снижения влияния человеческого фактора в управлении и минимизации ошибок при принятии управленческих решений в режиме реального времени могут быть достигнуты только посредством адекватной профессиональной подготовки эксплуатационного персонала.

2. Уровень необходимой и достаточной подготовки персонала может быть обеспечен путем интеграции учебных центров энергетических структур с университетской системой подготовки и переподготовки профессиональных кадров для энергетической отрасли (бакалавров, магистров, инженеров, кандидатов и докторов наук).

3. Эффективность учебно-тренажерных комплексов и рентабельность учебно-тренажерного центра в целом может быть обеспечена путем его многоцелевой ориентации для подготовки широкого круга специалистов, осуществляющих создание (проектирование) и эксплуатацию энергетических объектов.

Использование высокоточных компьютерных моделей (тренажеров) в различных аспектах (эксплуатационно-режимном, синтеза адаптивного и интеллектуального автоматического управления, энергомашиностроительном) позволяет решать, в том числе, задачи оценки эффективности и оптимизации конструктивно-технологических решений, гарантированной технологической работоспособности на ранних стадиях разработки энергетического оборудования и подготовки специалистов.

---

<sup>18</sup> Ю.С. Тверской

*Успешный человек всегда будет знать то,  
что ему надо делать в той или иной ситуации:  
не только потому, что он многое знает,  
а еще потому, что он ГОТОВ  
к такому развитию событий.*

*Из методического пособия для менеджеров*

## **ГЛАВА 19. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ОПЫТ РАЗРАБОТОК КОМПЬЮТЕРНЫХ СРЕДСТВ ТРЕНАЖЕРНОЙ ПОДГОТОВКИ В ЭНЕРГЕТИКЕ<sup>1</sup>**

### **19.1. О специфике и технологиях моделирования процессов энергоблоков тепловых электростанций**

#### **19.1.1. Предварительные замечания (У какой фирмы заказать тренажер?)**

Один из основных тезисов, которые, как правило, отстаивают разработчики тренажеров различных фирм как в России, так и во всем мире состоит в том, что все хорошие тренажеры устроены более или менее одинаково. Поэтому для заказчика вопрос о том, у какой фирмы заказать тренажер, – это вопрос, главным образом, цены и личного предпочтения.

Тренажеры, о которых говорится в настоящей главе, используются преимущественно для тренировки интеллектуальных навыков по анализу ситуации и выработке правильных управляющих решений во всех режимах работы оборудования. Наиболее сложные из них – пуски из различных тепловых состояний, изменение нагрузки котла и/или турбины, останов оборудования, консервация в горячем резерве, расхолаживание и др. Формализация и автоматизация этих режимов чрезвычайно осложнена различными факторами.

---

<sup>1</sup> А.С. Рубашкин при участии Ю.С. Тверского.

Выработка и поддержание на должном уровне интеллектуальных навыков – это наиболее сложная часть задачи по подготовке и поддержанию квалификации машинистов котлов и турбин. Для решения этой задачи нужны специализированные технические средства.

К компьютерным тренажерам, используемым для тренировки интеллектуальных навыков, предъявляются повышенные требования в части качества моделирования технологических процессов. При этом если тренажер предполагается использовать для тренировки интеллектуальных навыков операторов в широком спектре наиболее сложных режимов работы оборудования, то он должен адекватно воспроизводить эти режимы.

Существует несколько принципиальных подходов к тому, как строятся модели объекта для тренажера.

Наиболее распространенный в мире подход заключается в том, что разработчик по существу имитирует известные переходные процессы на оборудовании: разгрузку блока, нагружение, останов блока в горячий резерв, пуск блока из холодного состояния и т. д. И чем больше переходных процессов воспроизведено в тренажере, тем тренажер лучше и дороже.

Другой подход, как уже отмечалось выше, состоит в том, что процессы на оборудовании реализуются как результат структурных и конструктивных характеристик оборудования на основе фундаментальных физических законов неравновесной термодинамики (сохранения массы, количества движения, энергии, а также законов теплопередачи и др.). При таком подходе построения тренажера оператор может в любой момент выполнить любое действие, в том числе и неправильное, а тренажер ответит так же, как в подобной ситуации на такие же действия отреагировал бы реальный блок.

Конечно, сама по себе модель объекта, пусть даже и очень качественная, еще не является тренажером. Чтобы некоторая программно-аппаратная система могла бы называться "Тренажером для выработки интеллектуальных навыков операторов котлов и турбин", качественной модели объекта недостаточно. Необходимо как минимум следующее:

- станция инструктора, реализующая все стандартные на сегодняшний день возможности компьютерных тренажеров, в

частности: загрузка исходного состояния моделируемого объекта, сохранение текущего состояния моделируемого объекта, режим моделирования, режим замороженного состояния, моделирование в реальном времени, моделирование в ускоренном/замедленном времени и т. д.;

– станция оператора с дружественным интерфейсом, позволяющая оператору в удобной форме воспринимать информацию с виртуального объекта и выдавать управляющие воздействия на виртуальный объект;

– программная система, связывающая все части тренажера воедино и обеспечивающая взаимодействие и синхронизацию во времени всех элементов тренажера.

### **19.1.2. О специфике проблемы обучения персонала на тепловых и атомных электростанциях**

Тепловая энергетика в части обучения персонала традиционно равняется на атомные станции, полагая, что технология обучения персонала в атомной энергетике является эталоном.

Однако ряд особенностей атомной энергетике по сравнению с тепловой делают опыт подготовки персонала в атомной энергетике, на наш взгляд, не вполне приемлемым для тепловой энергетике.

*Основной проблемой в атомной энергетике является ядерная безопасность.* Кроме того, атомные блоки спроектированы для работы в базовом режиме, поэтому их стараютсяшний раз «не дергать», они редко останавливаются, редко пускаются, относительно редко разгружаются, пуски в основном производятся из холодного состояния. Во всех реальных режимах работы АЭС вопросы экономичности остаются на втором плане, а основное – это ядерная безопасность. Исходя из этого, на атомных электростанциях созданы особые условия, в том числе и экономические, для закрепления персонала за каждым энергоблоком. В таких условиях целесообразно использовать *полунатурные (полномасштабные) тренажеры*, ориентированные на моторные навыки и аварийные ситуации.

*На тепловых станциях проблемы другие.* Аварии здесь тоже могут дорого стоить, но они, как правило, не имеют катаст-

рофических последствий. Блочные щиты различных блоков на одной станции могут иметь существенные отличия, а условия для закрепления персонала за энергоблоком не созданы. Если в структуре затрат тепловой станции затраты на топливо составляют более 80 %, то вопросы повышения среднего КПД блока даже на 0,1 %, по крайней мере, не менее важны, чем вопросы безаварийности. А некоторый ощутимый прирост КПД могут дать даже такие мероприятия, как работа в режиме минимального дросселирования на клапанах, минимальное использование впрысков и др. Кроме того, временные остановы и последующие пуски из получившегося исходного (не обязательно холодного) состояния происходят достаточно часто. При этом если бы все пуски делались, как из холодного состояния (т.е. при малом исходном расходе топлива и медленном прогреве компонентов), то ситуация для оператора сильно бы упростилась. Но дело в том, что после временного останова почти всегда требуется пустить блок как можно быстрее. Можно осуществить пуск из горячего состояния за 2 – 2,5 часа, но для этого требуется относительно много топлива, поэтому оператор вынужден ускорить процесс пуска, поскольку, если он потеряет условия для горячего пуска, то ему уже придется делать теплый пуск – а это требует значительно больше времени. Кроме того, излишние потери времени на пуск – это потери топлива. И оказывается, что для выполнения поставленной задачи одного знания инструкции по эксплуатации уже недостаточно. Надо глубоко понимать технологические процессы оборудования, иными словами, иметь университетскую подготовку по соответствующему теплоэнергетическому направлению.

Для разработчика тренажера легче смоделировать 20 аварийных ситуаций, чем воспроизвести теплый пуск из произвольного теплового состояния, потому что активная фаза ликвидации аварийной ситуации занимает 15 – 20 мин, а активная фаза при теплом пуске длится несколько часов.

Все это означает, что полноценные тренажеры для тепловой энергетики должны реалистично воспроизводить длительные процессы, в которых операторы могут выполнять тысячи управляющих воздействий.

### **19.1.3. Об некоторых особенностях математических моделей для профессиональной подготовки операторов котлов и турбин**

В производстве электроэнергии задействованы работники многих специальностей. Понятно, что всех их надо учить и разных специалистов надо учить по-разному и, вероятно, на разных средствах обучения.

Профессиональное мастерство операторов котлов и турбин включает как минимум две основных составляющих:

- теоретические знания и знания НТД (в том числе инструкций по эксплуатации);
- умение (практические навыки) управлять энергоблоком.

Иными словами, имеют место два ключевых фактора – учебные средства для получения знаний и непосредственно тренажеры, основная цель которых – тренировка практических навыков.

Операторам необходимы практические навыки, в том числе моторные, по работе с установленной на блоке системой управления – это может быть либо традиционная СКУ с блочным щитом, либо современная распределенная многофункциональная АСУТП на базе ПТК.

При этом, как бы полно ни охватывала АСУТП режимы работы оборудования, эта всережимная полнота реализуется далеко не всегда. В реальной эксплуатации многократно создаются ситуации, когда оператору как юридически ответственному лицу приходится в условиях жесткого лимита времени осознанно принимать и оперативно осуществлять решения по дистанционному (автоматизированному) управлению энергоблоком.

Умение принимать оперативные решения в сложных технологических ситуациях надо, естественно, тренировать.

Прежде чем описывать различные технологии моделирования динамических процессов, необходимо пояснить, чем в реальной физической системе определяются мгновенные значения различных физических элементов.

Рассмотрим пример: ***прогрев стопорного клапана турбины на начальной стадии пуска блока.***

Прогрев осуществляется паром, который подводится к клапану из паропровода и сбрасывается после клапана в дренажную линию. Чем будет определяться температура металла клапана через 1 минуту после начала прогрева? Через 5 минут? Через любое другое время? Интуитивно понятно, что чем больше пара подается на прогрев и чем выше его температура, тем выше будет температура металла и через 1 минуту, и через 5 минут, тем быстрее будет расти температура металла, тем выше будет скорость прогрева. Иными словами, расход пара и его температура совместно определяют «расход» подводимого к металлу тепла.

Но тепло к клапану не только подводится, но и отводится – в частности, в окружающую среду. Если клапан хорошо изолирован, то «расход» отведенного тепла мал и клапан греется быстро. Если изоляция не наложена или она плохого качества, то «расход» отведенного тепла будет больше и клапан будет греться медленнее.

Таким образом, реально в каждый момент времени температура металла клапана (а точнее скорость прогрева металла) зависит от небаланса «расходов» входящего и уходящего тепла.

От чего еще зависит температура металла клапана через 1 минуту после начала прогрева? Очевидно, что от значения начальной температуры, а также от массы металла клапана – чем меньше масса, тем быстрее клапан нагревается при тех же расходе и температуре греющего пара. Это означает, что чем меньше масса металла, тем горячее он будет через 1 минуту после начала прогревания при прочих равных условиях.

Таким образом, температура металла стопорного клапана – это интеграл от небаланса расходов входящего и уходящего тепла. А коэффициент при интеграле, скорость интегрирования зависят в обратной пропорции от массы клапана, а более формально – от его общей теплоемкости.

Конечно, это рассмотрение предельно упрощено. Например, не учтено, что пар, отдавая тепло, конденсируется, что отвод тепла сам зависит от температуры металла и т.п. Но суть дела наше рассуждение отражает.



Мы рассмотрели вопрос о температуре. Те же рассуждения и выводы применимы к давлениям рабочих тел (пара, газов), только речь в этом случае идет не о расходах тепла, а о расходах вещества. Давление в некоторой точке реальной физической системы – это интеграл от небаланса расходов входящего и уходящего вещества. Коэффициент при интеграторе обратно пропорционален внутреннему объему (т.е. емкости), относящемуся к данной точке.

## **19.2. Анализ особенностей разработки компьютерных тренажеров, применяемых на практике**

### **19.2.1. Особенности развития компьютерных тренажеров**

*Тренажер, включающий ситуационную детерминированную модель, прямо воспроизводящую экспериментальные процессы объекта (здесь назван тренажером первого поколения – Т1П)*

В тренажерах *первого* поколения модели строятся на основе известных статических и динамических характеристик объекта. В большинстве случаев источником этих характеристик являются опытные данные, полученные непосредственно на работающем объекте в результате выполнения процедуры идентификации<sup>2</sup>. Иногда для получения каких-то характеристик могут использоваться расчетные методы (например, в работах ВТИ и ОРГРЭС рассчитывались кривые разгона на основе «Нормативного метода расчета динамических характеристик прямоточных парогенераторов»).

Модель в целом строится как единая программная система, которая воспроизводит известные режимы и процессы объекта. При этом структура модели преимущественно воспроизводит структуру каналов, связывающих входные воздействия с выходными переменными (модель «вход-выход»). Модель объекта по существу оказывается «черным ящиком»: его технологическая структура, конструктивные характеристики, физические

---

<sup>2</sup> См. БД «Фонд...» кн.2.

законы, лежащие в основе протекающих в нем процессов, остаются вне пределов модели. Динамические характеристики, на воспроизведении которых основывается модель, чаще всего рассматриваются как линейные (не зависящие от величины и знака изменения входных воздействий). В особо «изошренных» случаях коэффициенты аппроксимирующих их передаточных функций ставятся в зависимость от какого-то параметра, который рассматривается как определяющий, например от нагрузки.

Для получения реакций на комбинацию входных воздействий используется принцип суперпозиции, который применим к любой линейной системе. Промежуточные режимы и процессы, для которых нет опытных (или расчетных) данных, реализуются путем интерполяции того или иного вида. Режимы и процессы вне области известных данных получаются с использованием экстраполяции.

Существенные достоинства подобных моделей:

- практически отсутствует проблема обеспечения устойчивости решения дифференциальных уравнений, поскольку количество обратных связей минимально; это позволяет осуществлять решения при относительно больших шагах по времени, т.е. малыми затратами машинного времени, а это существенно снижает требования к вычислительной мощности используемых для моделирования компьютеров<sup>3</sup>;

- возможность четко разделить работу по созданию моделей между специалистами различных специальностей: одни определяют характеристики и строят схему каналов, другие воспроизводят в компьютере эту схему и характеристики; причем этим последним – математикам и программистам – вовсе не обязательно понимать технологию и физику процессов.

С другой стороны, этому подходу свойственны существенные недостатки:

- низкая точность, являющаяся следствием, во-первых, того, что существенно нелинейный объект (каким является энергоблок) воспроизводится как линейный, и, во-вторых, того, что любые исходные характеристики, полученные экспериментально на действующем объекте в результате реализации процеду-

---

<sup>3</sup> Меньше стоимость технических средств.

## ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

---

ры идентификации, имеют интервальные оценки, определяемые заданной доверительной вероятностью<sup>4</sup>;

– низкая достоверность процессов, которые могут быть воспроизведены на такой модели для промежуточных (интерполяция) и особенно выходящих за рамки опытных данных (экстраполяция) режимов, в частности для пусков различного вида;

– модель строится для действующего оборудования и не может быть построена для объекта, для которого еще не определены опытные характеристики, т.е. для объекта, находящегося в стадии проектирования, строительства или монтажа.

Следствием низкой точности и достоверности модели в промежуточных режимах оказывается то, что в них весьма часто не сводятся тепловой и массовый балансы, причем этот недостаток пользователи обнаруживают в первую очередь.

*Тренажер, включающий математическую модель, основанную на уравнениях баланса с коэффициентами, полученными из экспериментальных данных (тренажер второго поколения – Т2П)*

Существенным шагом вперед в сфере построения математических моделей энергоблоков стало признание того факта, что модели должны напрямую строиться на основе физических законов, которыми определяется функционирование реального объекта. Прежде всего, это законы сохранения энергии (тепла), массы и количества движения. Например, в США применение для построения моделей законов сохранения (баланса) получило название: применение «основных принципов». Законы сохранения, как уже было показано выше, математически записываются как дифференциальные уравнения баланса (см. гл.7, разд. 7.3).

---

<sup>4</sup> Тверской Ю.С., Таламанов С.А., Агафонова Н.А. Методы интервальной оценки частотных характеристик и робастной настройки систем управления / Под общей ред. д-ра техн. наук проф. Ю.С. Тверского / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И.Ленина». – Иваново, 2010. – 219 с.

Баланс тепла описывается уравнением, в котором производная по времени для температуры, или теплосодержания, пропорциональна разности расходов подведенного и отведенного от рабочего тела тепла. Сама температура, или теплосодержание, вычисляется интегрированием этой разности (небаланса). Уравнения баланса тепла записываются для всех рассматриваемых компонентов и рабочих тел, например для пара, текущего через пакет пароперегревателя, для дымовых газов, отдающих тепло этому пакету, для металла труб пакета и т. д.

Баланс массы может описываться уравнением, в котором производная давления по времени пропорциональна небалансу расходов подведенного и отведенного рабочего тела (пара и/или воды, дымовых газов, и так далее). Само давление вычисляется интегрированием этого небаланса.

В модели, основанной на системе дифференциальных уравнений баланса, объект уже не является «черным ящиком». Поскольку уравнения записываются для взаимосвязанных компонентов объекта, структура уравнений баланса и их взаимосвязи отображают структуру компонентов объекта.

Рассмотрим вопросы определения расходов тепла или рабочего тела (пара, воды, газов), входящих в уравнения баланса, и определения коэффициентов при производных, от которых зависит динамика процессов на тренажере.

Точный расчет этих расходов тепла для всех режимов работы котла можно было бы выполнить на базе формул и рекомендаций «Нормативного метода теплового расчета котельных агрегатов». Однако эта процедура достаточно сложная и требует большого количества конструктивных исходных данных. Гораздо проще определять эти расходы из опытных данных, полученных на работающем объекте.

В установившихся режимах работы энергоблока эти два расхода тепла к металлу (подведенный и отведенный) равны. Расход тепла к пару в установившемся режиме на реальном блоке сравнительно просто вычислить, если известны расход и давление пара, а также температура пара до и после ширм. Все эти величины, как правило, на действующем энергоблоке измеряются. Если разработчик имеет информацию по нескольким установившимся режимам работы, то он может попытаться по-

строить аппроксимирующую функцию для вычисления расходов тепла от газов к металлу и от металла к пару в зависимости от каких-то других реально измеряемых на энергоблоке параметров. Например, можно построить аппроксимирующую функцию для вычисления расхода тепла от газов к металлу в зависимости от температуры газов в какой-либо точке газового тракта, где эта температура на реальном энергоблоке измеряется. При этом необязательно, чтобы этой температурой газов была бы температура газов в районе самих ширм, потому что между температурами газов в разных точках газового тракта котла существует корреляция. Наконец, можно аппроксимировать не сами расходы тепла, а на их основе делать аппроксимацию коэффициентов теплоотдачи от газа к металлу и от металла к пару. Тогда в тренажере необходимо вычислять расход тепла, перемножая «предполагаемое» значение коэффициента теплоотдачи, полученное на основе процедуры аппроксимации, на поверхность теплообмена и на разность температур.

Этот же подход можно применить и для других компонентов котла и блока.

Другой способ заключается в том, чтобы просто использовать коэффициенты при производных в уравнениях баланса (не только тепла и не только для металла) как настроечные коэффициенты. Для любого переходного процесса (разгрузка, останов, холодный пуск и т.д.), подбирая и подстраивая эти коэффициенты внутри модели, можно реализовать динамические свойства энергоблока, которые отвечают представлениям заказчика, полученным на основе опыта эксплуатации энергоблока. То есть опять-таки коэффициенты уравнений модели определяются на основании опытных данных.

Подбирать, подстраиваясь под реальные процессы, какими их представляют себе эксперты заказчика, динамические коэффициенты можно и в том случае, если статические параметры (коэффициенты теплоотдачи, разности температур, сами тепловые потоки) рассчитывается достаточно точно. Некоторые авторы называют это разделением статической и динамической задач (в то время как сама природа «решает» эти задачи совместно – как единую задачу).

Тренажеры, использующие модели такого типа, назвали тренажерами второго поколения (Т2П). Они имеют существенные преимущества перед Т1П, в первую очередь, потому, что они гораздо детальнее воспроизводят структуру объекта и физику процессов. При этом баланс тепла и массы рабочего тела во всех компонентах и в модели в целом здесь сводится без особых проблем.

Исходную информацию с действующего объекта, которой оперирует разработчик Т2П, получить легче, чем разработчику Т1П, где требуется гораздо большая точность. По преимуществу речь здесь идет об информации о статических (установившихся) и динамических режимах работы оборудования, которая в ряде случаев может быть получена без специальных испытаний на оборудовании – методом пассивного эксперимента.

Однако этим моделям присущи те же недостатки, что моделям первого поколения – Т1П:

- неопределенность в отношении точности и достоверности воспроизведения неустановившихся режимов, для которых нет опытных данных (для пусков, аварийных ситуаций и т.п.);
- трудности построения такой модели для объекта, у которого нет работающего прототипа и др.

Эти недостатки являются следствием того, что при построении таких моделей, как и моделей Т1П, разработчики, хотя и в меньшей степени, идут «от процессов к процессам» – от процессов, так или иначе зафиксированных на реальном объекте, к процессам, которые выдает модель. Для разработчиков тренажеров такие модели весьма удобны тем, что при их построении они отвечают не за адекватность модели в отношении любых процессов и режимов объекта, а за адекватность её только в тех режимах, данные по которым были получены от заказчика. Их основная задача – соответствовать представлениям заказчика. Видимо, это одна из главных причин, почему большинство ведущих разработчиков тренажеров для тепловых электростанций не только в России, но и мире до сих пор разрабатывают тренажеры второго типа – Т2П.

**19.2.2. Тренажер, включающий математическую модель, основанную на уравнениях законов сохранения, с коэффициентами, полученными из конструктивных данных оборудования**

Статические и динамические характеристики реального энергоблока определяются множеством факторов, которые можно условно разделить на следующие группы:

– *основные конструктивные параметры оборудования, выбираемые на этапе проектирования, которые поддаются точной оценке* (величины поверхностей нагрева в различных зонах котла, сечение для прохода газов в различных зонах котла, количество и конструктивные параметры ПВД и ПНД, масса металла отдельных компонентов оборудования и т.д.);

– *параметры, обобщающие некоторые совокупности принятых конструктивных решений, которые на проектной стадии не поддаются точному расчету для конкретного оборудования*, однако, исходя из конструктивных и проектных решений, значения таких параметров, могут быть предварительно оценены на основе статистического обобщения данных по аналогичному оборудованию; после завершения монтажа и ввода оборудования в эксплуатацию предварительные оценки могут быть уточнены (степень эффективности использования различных поверхностей нагрева, термическое сопротивление изоляции, высота факела в топке и т.д.);

– *внешние контролируемые и неконтролируемые (случайные) факторы*, не зависящие от конструктивных параметров энергоблока (состав поступающего в данный момент топлива, например в какой-то момент времени топливо может иметь повышенную влажность или котел может работать на смеси разных топлив; температура окружающего воздуха; температура охлаждающей воды);

– *контролируемые и неконтролируемые (случайные) факторы*, зависящие от особенностей эксплуатации энергоблока (степень загрязнения поверхностей нагрева в котле, трубок в конденсаторе, величина присосов воздуха в различных элементах котла и в конденсаторе турбины и т.д.).

Оператор воспринимает свойства объекта через установленную на объекте систему контроля и управления. Поэтому дополнительными факторами, которые существенно влияют на восприятие человеком свойств энергоблока, являются:

- особенности первичных преобразователей (датчиков) и их установки, регулирующей и запорной арматуры (полевая зона);
- частотные свойства локальных систем управления.

Учесть все эти факторы при создании тренажера весьма сложно. И это тоже одна из причин, по которой основной технологией построения математических моделей энергоблоков была и до сих пор остается технология создания моделей типа Т2П.

Проблемы моделирования сетевой структуры многофункциональной АСУТП<sup>5</sup> при этом подходе, как правило, замалчиваются.

### *Основные положения технологии моделирования тренажеров третьего поколения – ТЗП*

В основе математических моделей, используемых для тренажеров третьего поколения, лежат уравнения сохранения неравновесной термодинамики («основные принципы») – законы баланса тепла, массы и количества движения, уравнения термодинамики воды, пара и газовых смесей, критериальные уравнения теплообмена.

Основные положения технологии моделирования тренажеров третьего поколения можно определить следующими этапами.

1. Для объекта моделирования строится единая система нелинейных дифференциальных и алгебраических уравнений, описывающая его поведение во всех режимах работы (начиная от исходного состояния для холодного пуска и заканчивая номинальным состоянием работы блока с полной нагрузкой).

Все коэффициенты этой системы уравнений прямо или косвенно определяются на основе конструктивных данных моделируемого объекта.

---

<sup>5</sup> АСУТП на базе ПТК сетевой иерархической структуры.



## ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

---

Значения основного множества коэффициентов в этих уравнениях (по нашей оценке не менее 95 %), которые зависят от поддающихся точной оценке конструктивных параметров оборудования, могут быть точно вычислены. Эти значения определяются на начальной стадии разработки тренажера и являются окончательными. Это означает, что в процессе отладки и тестирования тренажера разработчик не меняет значений этих коэффициентов. Исключением является случай, когда оказывается, что при определении какого-то коэффициента была допущена ошибка.

2. Находятся значения статистически оцениваемых обобщенных параметров. По этим значениям вычисляются те коэффициенты в уравнениях, которые от них зависят. Для котельных агрегатов статистические оценки обобщенных параметров берутся из «Нормативного метода расчета котельных агрегатов». Например, существуют статистические оценки потерь тепла в окружающую среду, перетоков воздуха в уходящие газы в регенеративных воздухоподогревателях, коэффициентов эффективности использования поверхностей нагрева в газоходах котлов разных типов и т. д.

Для факторов, зависящих от особенностей эксплуатации энергоблока, также применяется метод статистической оценки. При необходимости значения статистически выбираемых параметров в дальнейшем корректируются.

3. Определяются внешние факторы, влияющие на поведение оборудования. Они являются для моделей ТЗП граничными условиями, которые могут оперативно меняться в процессе работы. Это означает, например, что на ТЗП можно начать пуск блока с обычным топливом, а закончить его при увлажненном топливе.

Примером статистически выбираемого коэффициента является оценка коэффициента, связывающего потери тепла в окружающую среду с разностью текущей температуры металла и температуры окружающего воздуха. Если в дальнейшем окажется, что в рамках тренажера при этих коэффициентах энергоблок остывает быстрее или медленнее, чем в реальности, коэффициенты корректируются.

Технология ТЗП делает следующие важные шаги по сравнению с технологией Т2П:

- вычисления расходов тепла, воды и пара во всех режимах работы моделируемого оборудования производятся на основе точных формул, аппроксимация не применяется;

- теплоемкости и внутренние объемы всех элементов энергоблока правильно учитываются, при этом их значения не используются в качестве настроечных коэффициентов, чтобы добиться нужных динамических характеристик; модель объекта непосредственно работает с заранее вычисленными металлоемкостями и внутренними объемами всех элементов энергоблока.

В результате компьютерные модели ТЗП обладают следующими важными потребительскими свойствами:

- достаточно точное воспроизведение *любого* статического режима работы оборудования; например, специальное тестирование нескольких ТЗП, установленных в тренажерном центре ТЭЦ-26 Мосэнерго, показало, что отличие значений основных статических параметров работы блока на модели и в аналогичных режимах на реальном оборудовании в подавляющем большинстве случаев укладывается в погрешность измерений;

- достаточно точное воспроизведение динамических режимов работы оборудования;

- имеется возможность обучать персонал пускам блока из *любых* тепловых состояний;

- модели ТЗП позволяют заказчику обратить внимание на потенциальные проблемы измеряющих устройств реального объекта (датчики, термодары), поскольку если параметры какого-либо статического режима на тренажере и на реальном объекте не совпадают, то во многих случаях именно параметры на тренажере являются правильными, а на реальном блоке есть проблема с источниками информации;

- имеется возможность осуществлять опережающую подготовку и переподготовку персонала.

Можно сказать, что ТЗП идут не от процессов к процессам, как это делают Т1П и Т2П, а от конструктивных данных к процессам.

Таким образом, задача разработчика ТЗП состоит в том, чтобы на основе конструктивных данных правильно построить математическую модель и воспроизвести статические и динамические свойства отдельных элементов энергоблока, увязать их между собой. Тогда на тренажере любой вариант пуска, правильный или неправильный, из любого теплового состояния может быть воспроизведен естественным путем без дополнительных подстроек тренажера.

Фактически ТЗП – это больше чем просто средство для обучения начинающих операторов. Это средство аттестации и повышения квалификации для наиболее опытных и квалифицированных операторов. Они могут попробовать на нем крайне редко встречающиеся ситуации. Результатом будет адекватная и объяснимая реакция.

Для заказчика существует достаточно простой способ понять, создает ли разработчик ТЗП или нет. Если разработчик в качестве исходных данных для моделирования запрашивает у заказчика информацию о динамических свойствах реального объекта, а не только конструктивные и проектные данные, привлекает специалистов заказчика к разработке тренажера до момента начала его тестирования, то в результате заказчик получит в лучшем случае тренажерный комплекс типа Т2П.

### ***19.2.3. Сравнение моделей оборудования, полученных на различных исходных платформах***

Модели Т1П до сих пор используются разработчиками, для которых создание тренажеров не является основной профессиональной деятельностью. Эти модели могут быть использованы для следующих целей:

- теоретическое (начальное) обучение операторов работе с относительно простыми компонентами АСУТП, работа с этими компонентами;

– начальное обучение операторов, которые еще не готовы выполнять на тренажере сложные режимы и не могут верифицировать модель тренажера.

Модели Т2П – это серьезный шаг вперед в качестве моделирования по сравнению с моделями Т1П. Разработка таких тренажеров – это уже удел профессионалов в этой области.

В настоящее время большинство коммерчески разрабатываемых тренажеров относятся к классу Т2П. При тщательной реализации они позволяют добиться приемлемого качества моделирования технологического процесса в случае, если основная задача обучения ограничивается некоторым множеством заранее определенных операций, начинается из заранее согласованных исходных состояний (например, разгрузка блока от 100 до 70 %, пуск блока из заранее заданного исходного состояния) и обучение производится по заранее известным сценариям (разгружать блок от 100 до 70 % можно только заранее определенным образом).

Многие разработчики Т2П ставят себе в заслугу то, что на начальной стадии разработки тренажера они привлекают специалистов заказчика и используют данные с реального объекта, поскольку только так, как они утверждают, можно максимально приблизить тренажер к реальному блоку.

Читая данное описание поколений тренажеров, кто-то из разработчиков Т2П может сказать, что на самом деле все ведущие разработчики создают Т3П. Различается только процедура определения тех коэффициентов, которые возможно найти на основе экспериментальных статических и динамических характеристик объекта. Так ли это?

Уравнения моделей Т3П оперируют с понятием массы металла (а через массу считается теплоемкость этого металла при текущей температуре металла) необогреваемых поверхностей котла: коллекторов, перепускных труб и т.д.

В Т3П конкретные значения массы для всех таких элементов (например, перепускные трубы перед 1-м впрыском, подводные коллекторы, коллектор 1-го впрыска, отводящие коллекторы и т.д.) считаются разработчиками на основе конструктивных данных и заносятся в модель. Вследствие распределенности объекта в пространстве масса необогреваемого элемента

имеет самостоятельное значение, а не только в сумме с массой обогреваемого элемента. Определить эти данные на основе экспериментальных динамических свойств котла невозможно: в отличие от прямой задачи определения суммы по слагаемым или произведения по сомножителям обратная задача разделения суммы на слагаемые или произведения на сомножители не имеет решения. Попробуйте, имея тарелку супа, определить «обратным ходом», сколько соли положил в него повар и сколько соли было в исходных продуктах. Поэтому, если разработчик тренажера в процессе разработки модели использует динамические данные с объекта или если он привлекает специалистов заказчика к разработке тренажеров до начала его тестирования, это значит, что такие тренажеры использует *другие* уравнения по сравнению с ТЗП. Например, эти *другие* уравнения, в отличие от уравнений ТЗП, не учитывают распределения металлоемкости вдоль пространственной координаты. Насколько известно, практически никто из ведущих мировых производителей тренажеров для тепловых электростанций даже не запрашивает у заказчика подробных данных по необогреваемым поверхностям котла. А значит, в их уравнениях нет понятий об аккумуляции тепла в металле этих поверхностей.

### **19.3. Состояние дел в мировом тренажеростроении<sup>6</sup>**

#### ***19.3.1. Об индустрии мирового тренажеростроения***

Ежегодная международная конференция «Fossil Simulation and Training» организована международным обществом по моделированию SCS (Society for Computer Simulation) при поддержке американского энергетического института EPRI. В этой конференции принимали участие представители известных в мире фирм по тренажеростроению: «CAE – Power Simulation» – Канада, «SimSci-Esscor/Invensys» – США, «PowerGen – Power Technology» – Англия, DS&S (Data Systems & Solutions) – США, «TRAX Corporation» – США, «Corys TESS» – Франция, «Тренажеры для электростанций» – Россия.

---

<sup>6</sup> А.С. Рубашкин.

## ГЛАВА 19. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ОПЫТ РАЗРАБОТОК СРЕДСТВ ТРЕНАЖЕРНОЙ ПОДГОТОВКИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

---

Как показала дискуссия, на сегодняшний день ни одна из участвующих в конференции фирм технически не готова разрабатывать тренажеры на базе конструктивных данных. Все они требуют интенсивного участия специалистов заказчика в процессе разработки тренажера с самого начала. Фактически это означает, что все они разрабатывают тренажеры уровня только Т2П.

Почему же развитие тренажеростроения в мире остановилось на рубеже Т2П? Неужели ведущие западные фирмы были не способны создать технологии моделирования Т3П?

Условия в индустрии тренажеростроения сложились так, что технология создания Т2П оказалась крайне удобной для разработчиков, в том числе и с коммерческой точки зрения. А заказчик не знал ничего лучшего. Ему объясняли, что только так и можно разрабатывать тренажеры. Невольно в этом вопросе разработчикам тренажеров помогло МАГАТЭ (Международное агентство по атомной энергии), которое приняло решение, что каждая атомная электростанция должна иметь тренажер. Это означало, что станция должна была не только потратить деньги на тренажер, но еще и быть довольна этим тренажером (если тренажер не пригоден для обучения персонала, то атомную станцию формально нельзя эксплуатировать). Разработчики объясняли заказчику, что уж если сложилась такая ситуация, что заказчик по существу заинтересован в качестве тренажере больше, чем сам разработчик, то он должен помочь разработчику создать хороший продукт. Так, заказчик реально стал соавтором тренажера. Пользуясь этим, *разработчик переложил на заказчика основную ответственность за качество тренажера*: заказчик выделяет своих технологов, предоставляет режимы, а разработчик делает по существу «что изволите».

Постепенно такой подход переключался с атомных станций на тепловые, поскольку заказчиков с тепловых станций постоянно «воспитывали», что опыт разработки тренажеров атомных станций – самый передовой в мире.

*Для разработчика переход к Т3П фактически означает, что он берет всю ответственность за качество тренажера на себя.* При этом заказчик отстраняется от разработки, и ему возвращается его естественная роль – стороннего критика каче-

ства тренажера. Кому нужна такая ответственность, если заказчик этого не требует!

Примерно лет 10 назад, когда начались активные научно-технические контакты между Россией и Западом, «передовые» технологии создания господствующих в мире Т2П пришли в Россию, главным образом, в атомную энергетику.

В мире естественной является ситуация, когда одни и те же фирмы, специализирующиеся на тренажерах для атомных станций, получают крупные контракты и разрабатывают тренажеры и для тепловых электростанций.

В России другая ситуация: ведущим российским производителям тренажеров для АЭС пока не удалось разработать ни одного серьезного тренажера теплового энергоблока или станции. Одна из причин – высокие цены, по которым привыкли работать эти разработчики (если атомная станция все равно обязана иметь тренажер, то можно поднять цену). Однако мы полагаем, что дело не только в цене.

### ***19.3.2. О некоторых противоречиях в мировом бизнесе тренажеростроения***

Разработчики тренажеров в России, чтобы получить следующий контракт в качестве доказательства своей успешной деятельности, часто приводят примеры других *успешных* проектов, утверждая, что заказчик доволен.

Ситуация в тренажеростроении, когда «заказчик доволен» на самом деле никого не убеждает – ни в России, ни за рубежом. Существует множество причин, почему заказчик может быть доволен, а у одного и того же заказчика довольными могут быть разные люди.

Например, тренажером может быть публично доволен главный инженер или директор станции, в то время как рядовые операторы недовольны, но их никто не спрашивает.

Главный инженер или директор станции могут быть публично довольными потому, что они заплатили за тренажер деньги, как правило, немалые, и они *не могут признаться, что была допущена ошибка*.

Другая причина, по которой заказчик доволен имеющимся у него Т1П или Т2П, – это то, что он профессионально недостаточно подготовлен и недостаточно осведомлен.

Приобретение Т1П или Т2П вместо Т3П, с точки зрения заказчика, можно оправдать только в том случае, если приобретаемый компьютерный тренажер в несколько раз дешевле Т3П и предназначен для решения локальных задач подготовки персонала.

#### **19.4. Пример использования модели котла БКЗ-420-140 при подготовке специалистов по автоматизации теплоэнергетических процессов<sup>7</sup>**

##### ***19.4.1. Предварительные замечания***

Оптимальная подготовка специалистов-теплоэнергетиков требует не только глубокого знания теплоэнергетических университетских курсов, но и практической подготовки к работе на реальном оборудовании.

Однако работа студентов на реальном оборудовании связана с целым рядом трудностей: опасность создания нештатных ситуаций, невозможность имитации неисправностей оборудования, ограниченный состав бригады студентов и т.д. В этих условиях незаменимым элементом учебного процесса являются модели реального оборудования.

В конце XX в. Сибирский институт энергетики (г. Иркутск) по заказу ОАО «Красноярскэнерго» разработал пакет «Модель котла БКЗ-420-140» для использования в процессе подготовки машинистов котлов. Эта программа успешно используется как для подготовки операторов, так и для проведения соревнований смен оперативного персонала. В 2000-2003 гг. эта программа успешно использовалась для повышения квалификации обходчиков котельного оборудования в учебном центре ОАО «Новосибирскэнерго».

---

<sup>7</sup> С.И. Новиков, А.В. Сафронов.



## ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

---

Котел БКЗ-420-140 оборудован всеми средствами автоматизации, включая технические измерения, системами авторегулирования, защит, дистанционного управления.

Математическая модель котла представляет собой четыре основных тракта: водяной, паровой, газоздушный, топливный.

Водяной тракт – обычный, со сниженным узлом питания, с одним штатным регулятором питания (что не соответствует принятой практике) и предвключенной узлу питания задвижкой (№290) (что не соответствует действительности, правильнее было бы использовать, как на первых отечественных прямоточных котлах, предвключенный регулятор перепада давления на всех регулирующих питательных клапанах РПК-1, РПК-2, РПК-3). В схеме водяного тракта имеются задвижки аварийного слива, перетока барабан-экономайзер, установка «собственного» конденсата для регулирования температуры перегретого пара.

Паровой тракт (рис. 19.4.1) – от барабана до главной паровой задвижки – показывает основные элементы пароперегревателя, включая основные и пусковой впрыски, задвижки продувки пароперегревателя, растопочной линии и импульсно-предохранительные клапаны. Тракт показывает все основные параметры, включая температуры в разных точках пароперегревателя, расходы, положение регулирующих и запорных органов. Тракт содержит все органы дистанционного и автоматического управления.

Газоздушный тракт также показывает все элементы подачи перегретого воздуха в топку и удаления дымовых газов. Упрощение в модели тракта заключается в представлении по одному дутьевому вентилятору и дымососу, что ограничивает область рассмотрения задач из-за отсутствия схем синхронизации. Однако последние могут быть рассмотрены на примере двух дымососов регулирования газов. Тракт имеет все средства автоматизации и позволяет изучать процессы тяги и дутья.

Схема топливного тракта представлена на рис. 19.4.2. Особенностью данной модели котла, предназначенного для сжигания ирша-бородинского угля, является использование для пылеприготовления двух молотковых мельниц с промбункерами (для восьми горелок) и системой подачи пыли высокой концентрации (для других горелок). Котел имеет две полутопки.

## ГЛАВА 19. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ОПЫТ РАЗРАБОТОК СРЕДСТВ ТРЕНАЖЕРНОЙ ПОДГОТОВКИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Мельницы снабжены всеми необходимыми средствами автоматизации: технологическими запретами и блокировками, системами авторегулирования, что позволяет изучать процессы пуска и останова пылесистем.

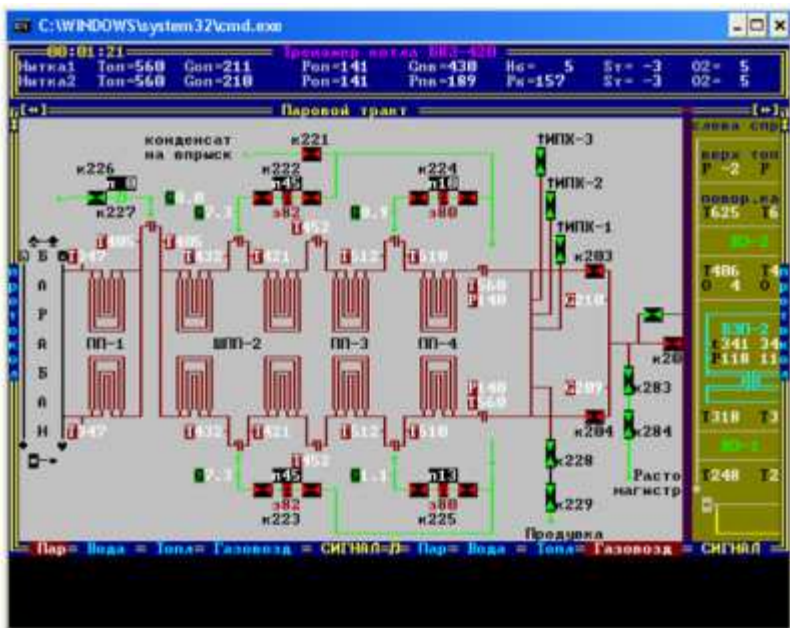


Рис. 19.4.1. Внешний вид пакета «Модель котла БКЗ-420-140», паровой тракт

В ходе решения задач на экране монитора могут появляться текстовые сообщения, соответствующие сигналам предупредительной и аварийной сигнализации.

В файлах начальных условий каждой задачи есть возможность либо замедлить, либо ускорить переходные процессы с помощью коэффициента масштаба времени.

### 19.4.2. Особенности модели и ее применение

Модель построена как упрощенная, линейная (по нагрузке), без шумов (Т1П). Последнее позволяет на «чистой» (детерминированной) модели изучать все процессы, происходящие в котлоагрегате, что особенно важно на первом этапе обучения. Динамические характеристики участков регулирования хотя и имеют улучшенные показатели динамики, но в целом качественно верно отражают реальные процессы.

В программу модели включены 34 нештатные ситуации и 10 режимных (пуск, останов, перевод с одной скорости на другую и обратно). Для нештатных ситуаций разработаны деревья оценки ситуаций и алгоритмы ликвидации нештатных ситуаций.

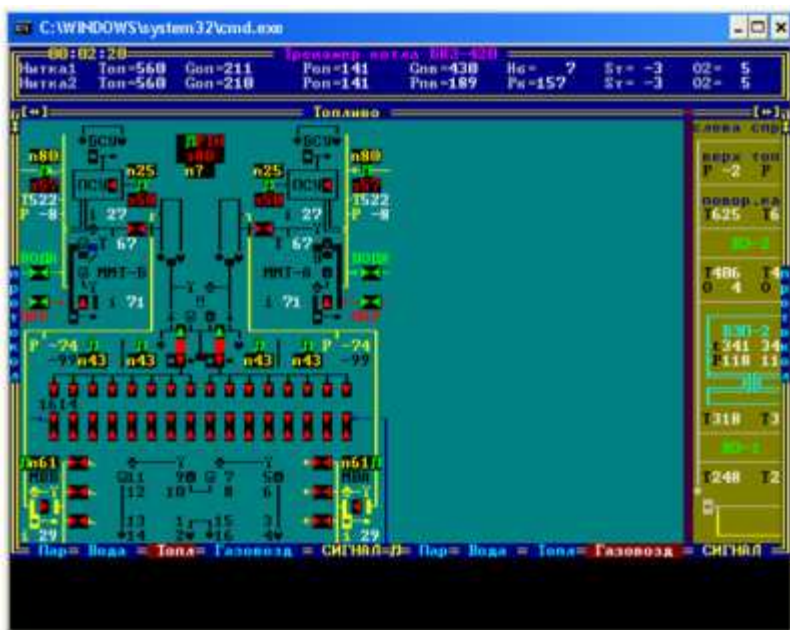


Рис. 19.4.2. Внешний вид пакета «Модель котла БКЗ-420-140», топливный тракт

Известно, что для специалистов-котельщиков более важны статические состояния, особого внимания деталям перехода в динамике не уделяется.

Для специалистов по автоматизации тепловых процессов важны как статические, так и динамические режимы. Однако в модели нет системы регистрации, позволяющей фиксировать быстротекущие процессы.

Задача расширения области применения рассматриваемой модели котлоагрегата требовала создания системы регистрации, позволяющей фиксировать все переходные процессы. Такая система была разработана на кафедре тепловых электрических станций в Новосибирском государственном техническом университете и получила название «Sensor».

Пакет «Sensor» регистрирует основные параметры модели котла в реальном времени и предоставляет их в удобочитаемом для пользователя виде: таблицы (рис. 19.4.3) или диаграммы. В таблицу выводятся значения всех основных параметров модели котла БКЗ-420-140 и время их регистрации. Для рассмотрения переходных процессов удобно пользоваться диаграммами. В зависимости от поставленной задачи можно вывести на экран как диаграмму одного из параметров (рис. 19.4.4), так и их совокупность (рис. 19.4.5).

Внешний вид пакета стандартен для операционной системы Windows и содержит кнопки быстрого доступа: запуск тренажера, открытие и сохранение проекта, запуск и останов синхронизации, настройка и справка, а также системную панель, которая информирует пользователя о состоянии работы тренажера котла и пакета регистрации параметров.

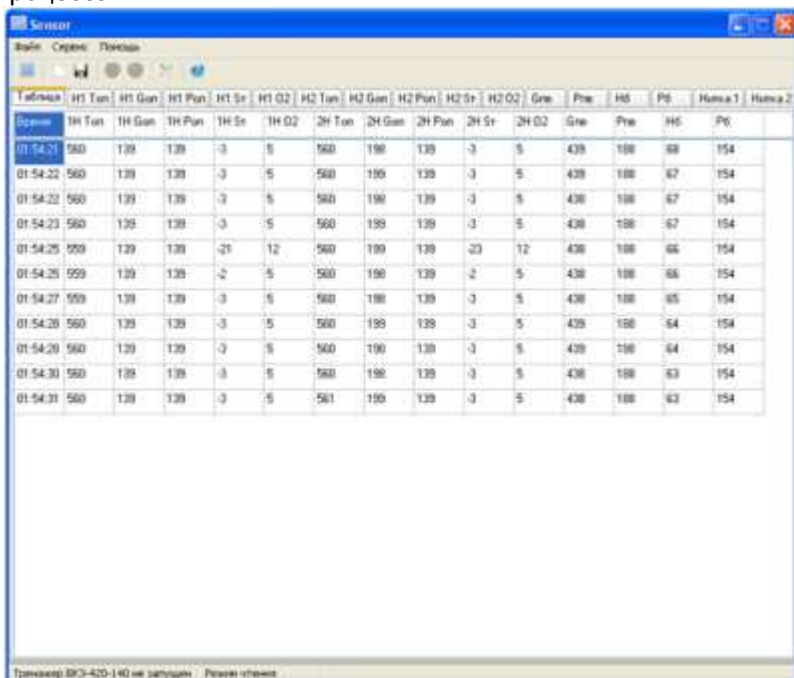
Программа имеет три режима работы:

1. Режим ожидания – режим, в котором пользователь может произвести настройку программы.

2. Режим синхронизации – основной режим пакета. В нем источником основных параметров является модель котла БКЗ-420-140. Через промежуток времени, установленный пользователем, происходит «изъятие» из модели параметров и их отображение. Таким образом, заполнение таблицы и построение диаграмм происходят поэтапно, при получении через задаваемый интервал времени данных о новых значениях параметров.

## ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

3. Режим чтения – режим, при котором исходные данные считываются из файла; происходит отображение сразу всего процесса.



The screenshot shows a window titled "Сенсор" (Sensor) with a menu bar (Файл, Сервис, Данные) and a toolbar. Below the toolbar is a table with 15 columns and 13 rows. The columns are labeled: "Время", "1Н Ton", "1Н Gan", "1Н Pon", "1Н Sr", "1Н O2", "2Н Ton", "2Н Gan", "2Н Pon", "2Н Sr", "2Н O2", "Gm", "Pm", "H6", "P6", "Нума.1", and "Нума.2". The rows contain numerical data for each parameter at various time intervals. The first row is highlighted in blue.

Время	1Н Ton	1Н Gan	1Н Pon	1Н Sr	1Н O2	2Н Ton	2Н Gan	2Н Pon	2Н Sr	2Н O2	Gm	Pm	H6	P6	Нума.1	Нума.2
01.54.21	560	139	139	-3	5	560	199	139	-3	5	438	188	68	154		
01.54.22	560	139	139	-3	5	560	199	139	-3	5	438	188	67	154		
01.54.23	560	139	139	-3	5	560	199	139	-3	5	438	188	67	154		
01.54.25	559	139	139	-2	12	560	199	139	-2	12	438	188	66	154		
01.54.25	559	139	139	-2	5	560	199	139	-2	5	438	188	66	154		
01.54.27	559	139	139	-3	5	560	199	139	-3	5	438	188	65	154		
01.54.28	560	139	139	-3	5	560	199	139	-3	5	438	188	64	154		
01.54.29	560	139	139	-3	5	560	199	139	-3	5	438	188	64	154		
01.54.30	560	139	139	-3	5	560	199	139	-3	5	438	188	63	154		
01.54.31	560	139	139	-3	5	561	199	139	-3	5	438	188	63	154		

Рис. 19.4.3. Внешний вид пакета «Sensor», таблица регистрации основных параметров котла БКЗ-420-140

Важная особенность данного пакета – сохранение после реализации процесса на модели котла всех полученных значений для их дальнейшей диагностики. И не только сохранение диаграммы отдельного параметра в графическом формате «jpg», но и сохранение таблицы в текстовом формате «txt». Форматы являются стандартными и открываются на всех персональных компьютерах под управлением любой графической операционной системы. Имеется возможность сохранять данные в собственном формате программы «ssb», что позволяет

## ГЛАВА 19. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ОПЫТ РАЗРАБОТОК СРЕДСТВ ТРЕНАЖЕРНОЙ ПОДГОТОВКИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

открывать сохраненные проекты без установленной на компьютере программы модели котла и получать больше данных, чем если бы мы сохраняли проект в стандартных форматах. Кроме того, пакет поддерживает экспорт таблиц в Microsoft Excel для последующей обработки данных.



Рис. 19.4.4. Внешний вид пакета «Sensor», диаграмма уровня воды в барабане котла БКЗ-420-140

Рассмотрим работу программы на реальной задаче: используя модель котла БКЗ-420-140, необходимо построить экспериментальную переходную характеристику объекта регулирования.

Для построения переходной характеристики необходимо нанести возмущение и наблюдать за изменением давления острого пара во времени. Раньше это делали два наблюдателя:

## ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

один отсчитывал промежутки времени, через которые снимались показания, второй по команде первого заносил данные в таблицу. Опыт проводили несколько раз для уменьшения погрешности наблюдения и находили среднюю величину параметра в моменты времени.

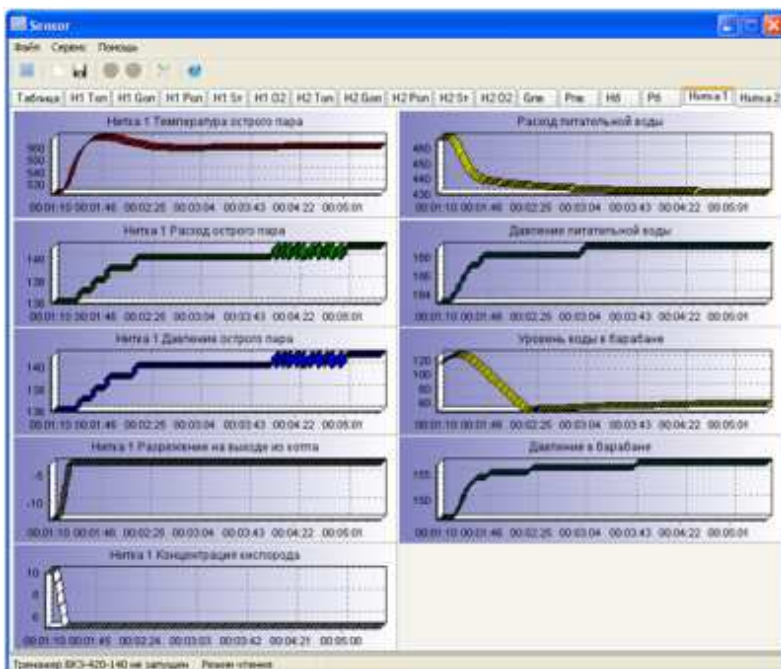


Рис. 19.4.5. Внешний вид пакета «Sensor», диаграммы основных параметров котла БКЗ-420-140

Теперь, используя пакет «Sensor», данную задачу может решить один человек. Ему нужно лишь подать возмущение, программа регистрации параметров сама снимет все значения и отобразит диаграмму.

При этом способе получения переходных характеристик уменьшается время, затрачиваемое на их построение, и трудо-

емкость процесса. А самое главное – значительно улучшается качество получаемых характеристик, так как при этом способе полностью исключается погрешность наблюдения, а также уменьшается период снятия данных с модели: при «ручном» способе период времени между контрольными моментами времени составляет 5-20 с, при использовании же пакета минимальный период времени снятия параметров составляет 1 мкс. Это свойство является весьма важным при регистрации быстропротекающих процессов. Например, построить переходную характеристику регулирующего органа, подавая возмущение впрысками и наблюдая за температурой без применения пакета, невозможно, поскольку отрезки времени между снятиями параметров и построением характеристики должны быть малыми и второй наблюдатель просто не успевает занести их в таблицу.

Применяя пакет «Sensor» для рассмотрения данного рода задач, можно провести более детальный анализ, так как при «ручном» построении характеристики мы не рассматриваем изменение остальных параметров, а используя программу регистрации и снятия параметров, получаем не только характеристику интересующего нас параметра, но и всех остальных величин. Это позволяет оценить обстановку в целом и более глубоко, затрагивая все параметры модели котла БКЗ-420-140, разобраться в рассматриваемом процессе.

Программа «Модель котла БКЗ-420-140», дополненная пакетом «Sensor», может быть широко использована для подготовки квалифицированных специалистов-теплотехников и специалистов по наладке, проектированию и эксплуатации автоматических систем регулирования теплоэнергетического оборудования электростанций.

Комплекс программ может быть очень полезен при создании ноутбука практического наладчика автоматических систем регулирования, работы над созданием которого ведутся в настоящее время во многих наладочных организациях.

Разработаны методические указания по проведению 8 лабораторных работ по курсам «Автоматизация теплоэнергетических процессов» и «Моделирование АСР тепловых процессов».



## 19.5. Методологические особенности объективного моделирования режимов работы тепловых электростанций<sup>8</sup>

### 19.5.1. Суть метода аналитического моделирования

Суть метода аналитического моделирования тепловых электростанций заключается в том, что в процессе создания модели объекта (котла и/или турбины) разработчики используют только объективные<sup>9</sup> конструктивные и проектные данные моделируемого объекта. При этом параметры статических режимов, динамические характеристики, полученные с реального объекта (на ранних стадиях из Фонда), в процессе разработки используются для оценки адекватности разработки (изделия).

Данные результатов идентификации, полученные с реального объекта, могут использоваться также на последних этапах разработки тренажера для корректировки ограниченного множества коэффициентов в уравнениях, описывающих объект. В это ограниченное множество входят нечеткие (размытые) коэффициенты, которые трудно или принципиально невозможно точно определить на основе конструктивных и проектных данных.

Статические и динамические характеристики реального энергоблока определяются множеством факторов, которые можно условно разделить на следующие группы.

**Группа 1.** Основные конструктивные параметры оборудования, выбираемые на этапе проектирования:

- величины поверхностей нагрева в различных зонах котла;
- сечение для прохода газов в различных зонах котла;
- количество и конструктивные параметры ПВД (HP-heaters) и ПНД (LP-heaters);
- масса металла отдельных компонент оборудования и т.д.

---

<sup>8</sup> А.С. Рубашкин.

<sup>9</sup> Отсюда «объективное моделирование» (по А.С. Рубашкину).

**Группа 2.** Внешние факторы, не зависящие от конструктивных параметров энергоблока:

- состав поступающего в данный момент топлива (например, в какой-то момент времени топливо может иметь повышенную влажность или котел может работать на смеси разных топлив);

- температура окружающего воздуха;

- температура охлаждающей воды, параметры, окончательно определяемые только после монтажа оборудования, например степени эффективности использования различных поверхностей нагрева, термическое сопротивление изоляции, высота факела в топке и т.д.

**Группа 3.** Факторы, зависящие от особенностей эксплуатации энергоблока:

- степень загрязнения поверхностей нагрева в котле, трубок в конденсаторе и т.д;

- качество изоляции поверхностей нагрева от внешней среды;

- величина присосов воздуха в различных элементах котла и в конденсаторе турбины.

Оператор воспринимает свойства объекта через установленную на объекте систему контроля и управления, мониторы АСУТП. Поэтому дополнительными факторами, которые влияют на восприятие человеком свойств энергоблока, являются свойства измеряющих датчиков и особенности их монтажа, особенности системы управления.

Суть метода объективного аналитического моделирования в основном изложена в гл. 7, 8. Моделирование базируется на законах неравновесной термодинамики и развивает теорию феноменологического подхода:

- законы баланса тепла, массы и количества движения;

- уравнения термодинамики воды, пара и газовых смесей;

- критериальные уравнения теплообмена.

### **19.5.2. Основные методические положения**

1. Для объекта моделирования строится единая система уравнений, описывающая его поведение во всех режимах работы, начиная от исходного состояния для холодного пуска и заканчивая номинальным состоянием работы блока с полной нагрузкой.

2. Все коэффициенты этой системы уравнений прямо или косвенно определяются на основе конструктивных данных моделируемого объекта.

3. Значения основной массы коэффициентов в этих уравнениях (по нашей оценке, не менее 95 %) могут быть точно вычислены. Эти значения определяются и являются окончательными. Это означает, что в процессе отладки и тестирования тренажера разработчик не меняет значений этих коэффициентов. Исключением является случай, когда оказывается, что при определении какого-то коэффициента была допущена ошибка.

4. Значения тех коэффициентов уравнений, которые нельзя точно вычислить по конструктивным данным энергоблока, выбираются на основе оценки статистических данных, основанных на анализе большого количества различного оборудования подобного типа. Для котельных агрегатов такой статистический анализ в России был проведен в период с 1950 по 1980 гг. Результатом этой работы стал уникальный в своем роде материал "Нормативный метод расчета котельных агрегатов", который в законодательном порядке еще в рамках СССР должен был использоваться при расчетах всех котлов, разработанных в СССР. Например, существуют статистические оценки потерь тепла в окружающую среду, перетоков воздуха в уходящие газы в регенеративных воздухоподогревателях, коэффициентов эффективности использования поверхностей нагрева в газоходах котлов разных типов и т.д.

5. При необходимости значения статистически выбираемых коэффициентов в дальнейшем могут быть легко скорректированы.

6. Внешние факторы, влияющие на поведение оборудования, должны являться для объективной модели граничными условиями, которые могут оперативно меняться инструктором

тренажера в процессе работы. Например, инструктору позволено начать пуск блока на тренажере при температуре окружающего воздуха 10°C (ночью), а закончить его при температуре окружающего воздуха 25°C (день).

Примером статистически выбираемого коэффициента является коэффициент, связывающий потери тепла в окружающую среду с разностью текущей температуры металла и температуры окружающего воздуха. Если в дальнейшем окажется, что в рамках тренажера при этих коэффициентах энергоблок остывает быстрее или медленнее, чем в реальности, коэффициенты просто корректируются в соответствующую сторону.

**Пример.** Коэффициент теплоотдачи конвекцией при поперечном омывании коридорных пучков и ширм во всех режимах работы котла вычисляется по формуле, ккал/(м<sup>2</sup>·ч·°C),

$$\alpha_k = 0,2 \cdot C_z C_s \frac{\lambda \left( \frac{\bar{\omega} d}{\nu} \right)^{0,65}}{d} \text{Pr}^{0,33},$$

где  $C_z$  – поправка на число рядов труб по ходу газов;  $C_s$  – поправка на геометрическую компоновку пучка, зависящая от продольного и поперечного шагов труб в пучке;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности при средней температуре потока;  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости при средней температуре потока;  $d$  – диаметр труб;  $\omega$  – мгновенная скорость газов; Pr – критерий Прандтля при средней температуре потока.

В этом выражении есть конструктивная ( $C_z$ ,  $C_s$ ,  $d$ ) и режимная части. Конструктивная часть имеет четкий физический смысл. Для того чтобы использовать эту формулу, необходимо, чтобы тренажер во всех режимах правильно считал скорости газов в районе такого пучка (а чтобы считать скорость газов, необходимо знать площадь проходного сечения для газов – еще один явный конструктивный параметр, необходимый для расчетов), состав газов с учетом присосов воздуха (от состава газа зависит, например, Pr) и температуру газового потока.

Но этого мало. Для того чтобы на основе вычисленного коэффициента теплоотдачи подсчитать поток тепла, необходимо в процессе разработки тренажера определить поверхность теплообмена (еще один конструктивный параметр) для данного

пучка, а также во всех режимах правильно считать температуру металла.

Еще одно очень важное свойство объективного моделирования. Если в каком-либо режиме работы тренажера вычисленный таким образом коэффициент теплоотдачи не удовлетворяет разработчика, то проблему надо искать либо в текущей скорости потока, либо в текущем составе газов.

Таким образом, в процессе тестирования тренажера облегчается локализация причины ошибки.

У объективных тренажеров есть замечательное свойство. Если некоторый режим объекта не совпадает с соответствующим режимом тренажера, то с высокой вероятностью оказывается прав как раз тренажер.

**Пример.** Заказчики предъявили следующую претензию: «В номинальном режиме работы блока тренажер работает правильно, но когда мы разгрузили котел до 70 %, значение мощности турбины на тренажере стало значительно отличаться от того, что мы имеем на реальном блоке». Стали разбираться, в чем дело. Оказалось, что разработчики системы управления для измерений расходов пара не реализовали коррекцию по плотности (чтобы в АСУТП во всех режимах иметь правильное показание для расходов пара, надо учитывать изменение плотности пара).

**Пример.** В одном из тренажеров температура дымовых газов в поворотной камере на 90°C выше, чем та же температура, которую в похожем режиме видят операторы на реальных блоках. Все остальные параметры очень близки.

Проблема оказалась в том, что у заказчика 4 одинаковых блока, на всех котлах температура в поворотной камере примерно одинаковая, но ниже на 90°C, чем на тренажере.

Разработчик аргументированно убедил заказчика, что если бы реальная температура газов в этой точке была бы как у них, то им бы не хватило тепла, чтобы нагреть острый пар и пар промперегрева до нужной температуры (в этом котле выходные поверхности острого пара и промперегрева находятся после поворотной камеры).

При ближайшем капитальном ремонте заказчик разобрался, что причиной является непредставительный сигнал (неудачное место установки термопар в газоходе).

Это говорит о том, что математическая модель, разработанная на основе объективных конструктивных данных, позволяет диагностировать специфические особенности реальных режимов работы моделируемого оборудования.

### ***19.5.3. Еще раз (для заказчика) об отличиях от традиционного подхода***

При традиционном подходе разработки тренажера, задается определенный объем приемосдаточных испытаний, после чего формально тренажером считается изделие, которое реализует перечисленные в задании опыты.

Далее заказчик в той или иной форме передает исполнителю информацию по режимам работы оборудования. Эта информация считается «истиной в последней инстанции», в том смысле, что **заказчик взял на себя за нее ответственность**.

После этого исполнитель на заданном множестве опытов пытается приблизить режимы работы модели оборудования к тем, что ему дал заказчик.

При этом задача построения тренажера фактически подменяется. Вместо того, чтобы разрабатывать математическую модель, которая адекватно воспроизводит энергоблок во всех его режимах, разрабатывается тренажер, который обеспечивает приемлемое совпадение с реальным объектом только в заранее выбранных и согласованных режимах.

Во всех других режимах – полная неопределенность. За рамками объективного моделирования задача воспроизведения даже заранее согласованных, но сложных режимов работы такого объекта, как энергоблок, является крайне сложной. Для ее решения необходимы нетривиальные математические и программные средства. Однако это тот случай, когда эти средства используются впустую.

Вернемся, для примера, к вычислению коэффициента теплоотдачи конвекцией при поперечном омывании коридорных пучков и ширм. Суть в том, что если есть статический режим, снятый с реального оборудования, то, основываясь на балансе тепла, можно вычислить для этого режима тепло, передаваемое от газов к металлу. Чем больше режимов работы реального

## ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

---

оборудования, тем больше конкретных значений передаваемого тепла для разных режимов работы оборудования можно иметь. Чем больше известных точек имеется, тем точнее можно построить аппроксимацию для промежуточных точек. Например, считаем, что нужный коэффициент конвективной теплоотдачи зависит не от тех параметров, что перечислены выше, а от каких-то других, по которым есть информация. Аппроксимация будет примерно верна в тех точках, для которых была информация, а во всех остальных точках – как получится.

Поскольку при таком подходе расход тепла от газов к металлу считается не совсем точно, не имеет смысла строго на основе физических законов считать и температуру металла. И так далее.

Конечно, это очень грубый подход к моделированию. Более продвинутый разработчик может в принципе считать по той же «объективной» формуле, но аппроксимировать, например, скорость дымовых газов для разных режимов и считать критерий Прандтля только функцией температуры газовой смеси, а не ее состава.

Вывод напрашивается сам собой. Чтобы у заказчика тренажера была гарантия, что разработчик, действительно, строит вычисления на основе физических законов, он (заказчик) заинтересован не предоставлять разработчику данные по режимам работы своего оборудования до момента начала тестирования тренажера, когда тренажер уже в значительной мере готов. Только так можно застраховаться от ничем не обоснованной аппроксимации в тех случаях, когда она реально не нужна.

Конструктивные данные, безусловно, предоставлять нужно с самого начала.

Одним из главных преимуществ объективного моделирования для разработчика тренажера состоит в том, что облегчается поиск ошибок моделирования за счет того, что значительная часть коэффициентов в уравнениях не требует корректировки. Например, смоделировав и отладив перегреватель котла, мы никогда не меняем его динамические свойства. При этом может оказаться, что в процессе растопки котла на тренажере температуры металла по тракту растут слишком быстро в сравнении с реальным котлом. Но мы знаем, что динамические свойства пе-

регревателя у нас обусловлены его истинной металлоемкостью и его истинным внутренним объемом. Поэтому необоснованный рост температуры при пуске не мог быть вызван динамическими свойствами самого перегревателя в тренажере. В одном из случаев оказалось, что это было связано, например, с маленькой пропускной способностью в тренажере сброса острого пара в конденсатор, вследствие чего при растопке расход пара через перегреватель был слишком мал.

### 19.6. Краткое резюме<sup>10</sup>

1. В России большинство разработчиков до сих пор создают тренажеры, комбинирующие принципы тренажеров первого поколения и тренажеров второго поколения. Причем для воспроизведения нормальных режимов в диапазоне нагрузок от 50 до 100 % применяются в основном принципы Т2П, а для воспроизведения большинства других режимов используются принципы Т1П.

2. Тренажер третьего поколения представляет собой новый инструмент, который позволяет научить оперативный персонал исключить отказы оборудования, связанные с неправильными действиями персонала, и необязательные потери при работе оборудования и тем самым поднять КПД своих энергоблоков.

3. В России даже самые опытные представители оперативного персонала не приучены обращать внимание на экономическую составляющую работы энергоблоков. В то же время операторы, которые прошли тренажерную подготовку и получили соответствующие интеллектуальные навыки, понимают, каким образом, немного изменив режим работы энергоблока, можно улучшить его экономические параметры, и умеют это делать.

4. Математическая модель объективного тренажера адекватно воспроизводит любой статический режим работы оборудования.

*Пример 1. У руководства реального энергоблока может возникнуть следующий вопрос. Если мы завтра выведем в ремонт один*

---

<sup>10</sup> А.С. Рубашкин.



## ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

---

*циркуляционный насос, то какую максимальную нагрузку блок сможет иметь при условии, что температура охлаждающей воды, например, 25 °С, а температура окружающего воздуха 28 °С?*

*Объективные тренажеры дают точный ответ на подобный вопрос в течение нескольких минут.*

*Пример 2. На реальном теплофикационном энергоблоке 250 МВт по условиям работы упорного подшипника турбины ремонтная организация дала рекомендацию временно ограничить расход острого пара на турбину в рамках заданной величины. У руководства станции возник вопрос, какой режим работы блока необходимо будет поддерживать, чтобы иметь возможность выполнить задание по отпуску электричества и тепла?*

*Инструктор тренажера выставил несколько таких режимов (с включенной и отключенной группой ПВД и т.д.) опять же с учетом температуры реальной охлаждающей воды в тот момент, и руководство сумело заранее выбрать режим, в котором будет работать этот блок.*

5. Объективный тренажер адекватно воспроизводит любой динамический режим работы оборудования.

*Пример 3. На реальном блоке приняли решение в первый раз произвести кислотную промывку поверхностей барабанного котла. Основные параметры нештатного режима работы котла в период промывки были известны (давление в барабане должно быть примерно 4 МПа, в то время как номинальный режим работы этого котла – 14 МПа), однако точных инструкций, как это делать, не было.*

*Отработку режима провели на тренажере, после чего достаточно точно воспроизвели его на реальном котле.*

6. Объективный тренажер позволяет обучать операторов пускам блока из любых тепловых состояний. Исходные состояния для пусков инструктор тренажера получает по факту.

*Пример 4. Если блок будет стоять в течение 2 часов, то получится исходное состояние для горячего пуска, если блок будет стоять 5 часов, то получится исходное состояние для теплого пуска, если блок будет стоять 15 часов, то получится исходное состояние для другого теплого пуска и т.д.*

7. Объективный тренажер позволяет заказчику обратить внимание на потенциально проблемные области реального оборудования и АСУТП блока с фактической полевой зоной (датчики, регулирующая арматура), т.к. можно легко сравнить истинное значение параметра и значения формируемых сигналов (динамические характеристики).

8. Если разработчик тренажера требует у специалистов заказчика рассказать, как этот блок работает, то, скорее всего, такие разработчики не придерживаются объективного моделирования.

Если разработчик не запросил у заказчика точные конструктивные данные о необогреваемых поверхностях котла (коллекторы, перепускные трубы и т.д.), то разработанный им тренажер не может быть динамически объективным.

Динамические свойства котла *существенно зависят от необогреваемых поверхностей (на 40-50 %)*, в то время как для статических характеристик котла они не играют никакой роли. Если разработчик не интересуется параметрами этих поверхностей, то ожидать от тренажера адекватного воспроизведения динамических свойств котла нельзя.

Одна из основных трудностей – получение исходных данных по необогреваемым поверхностям котла, поскольку, как правило, у заказчика такой информации в собранном виде нет.

9. Объективный тренажер может быть разработан для оборудования, которое спроектировано, монтируется, но еще не введено в работу. Тем самым обеспечивается опережающая подготовка персонала.

*Вот дом,  
Который построил Джек.  
А это пшеница,  
Которая в темном чулане хранится  
В доме,  
Который построил Джек.  
С.Я. Маршак*

## **ГЛАВА 20. ТЕХНИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПОЛИГОНОВ АСУТП ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ<sup>1</sup>**

### **20.1. К вопросу о концептуальной структуре полигона АСУТП электростанций**

Концептуальная структура полигона АСУТП электростанций включает в себя подсистему управляющего объекта, подсистему объекта управления, подсистему проектирования и подсистему инструктора (рис. 20.1.1).

Подсистема управляющего объекта выполняется максимально идентичной реальной АСУТП, а объект управления замещается его адекватной имитационной моделью, работающей в режиме реального времени.

Подсистема проектирования предназначена для разработки программного обеспечения подсистемы объекта управления и подсистемы управляющего объекта.

Подсистема инструктора позволяет производить контроль и оценку работы оператора, а также произвольно изменять состояние технологического объекта управления (в том числе изменять параметры случайных процессов возмущений, действующих на объект) и элементов системы управления.

Датчики, исполнительные устройства, управляющие контроллеры и шлюзы могут быть как реальными, так и выполненными программно (виртуальными) в зависимости от масштабов системы и задач, решаемых на полигоне АСУТП.

---

<sup>1</sup> Ю.С. Тверской, А.В. Голубев, А.Н. Никоноров.

## ГЛАВА 20. ТЕХНИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПОЛИГОНОВ АСУТП ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

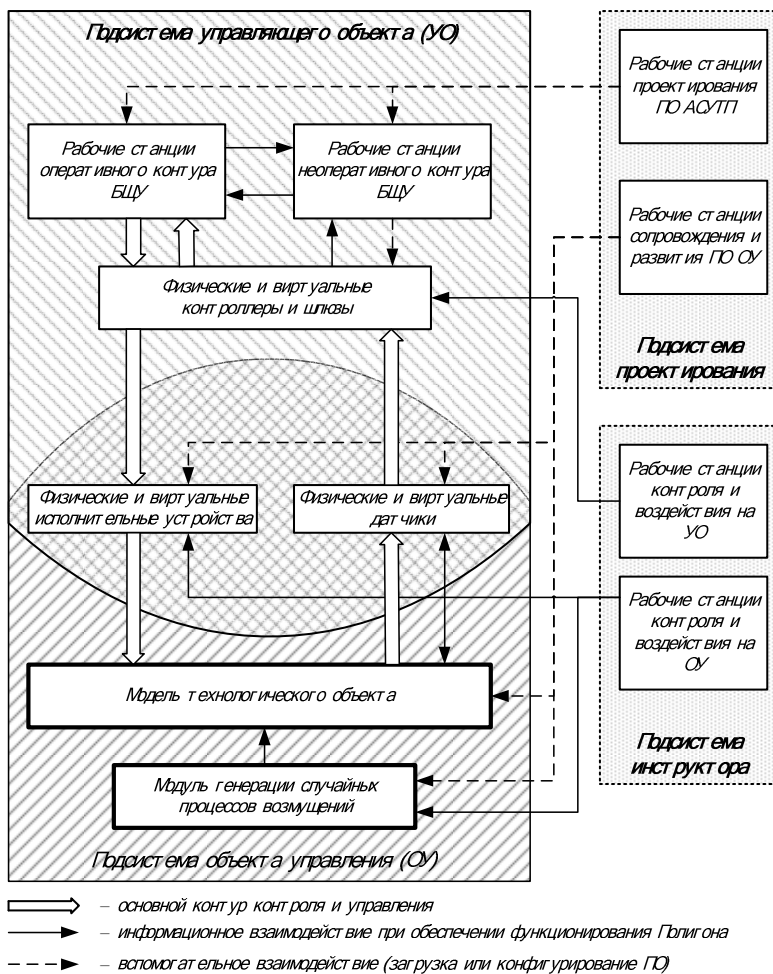


Рис. 20.1.1. Концептуальная структура полигона АСУТП электростанций

## ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

---

В целом полигоны АСУТП электростанций позволяют решать три класса задач <sup>2</sup>:

- учебные (полигон АСУТП как тренажерный комплекс);
- практические (полигон АСУТП как испытательный стенд);
- научные (полигон АСУТП как экспериментальная установка).

Основное назначение полигонов АСУТП как тренажерных комплексов – опережающая подготовка различных категорий специалистов, участвующих в процессе создания и освоения (эксплуатации) АСУТП тепловых электростанций.

К категориям обучаемых специалистов целесообразно отнести не только персонал собственно электростанций (оперативный и ремонтный персонал цехов КТЦ, ЭЦ, АСУТП), но и основных подрядных организаций (инжиниринговых, наладочных и проектных организаций).

Использование полигонов АСУТП как испытательных стендов связано с решением проблем отладки отдельных алгоритмов системы управления и комплексной проверки правильности функционирования подсистем АСУТП.

В качестве экспериментальной установки полигоны АСУТП позволяют выполнять исследовательские (экспериментальные) работы, направленные на совершенствование сложных наукоемких функций систем управления, на изучение динамических свойств управляющих каналов ПТК и др. <sup>3</sup>.

---

<sup>2</sup> Тверской Ю.С., Таламанов С.А. Опыт создания и перспективы развития полигонов полномасштабных АСУТП энергоблоков тепловых электростанций // Вестник ИГЭУ. – 2002. – № 1. – С. 101-107.

<sup>3</sup> Голубев А.В. Исследование характеристик и совершенствование настройки каналов регулирования, реализуемых контроллерами в составе программно-технических комплексов АСУТП энергоблоков: дис. ... канд.техн.наук: 05.13.06: защищена 03.02.06. – Иваново: ИГЭУ, 2006; Таламанов С.А. Концепция построения станции контроля и качества автоматического регулирования и автоматизации настройки АСУТП в составе АСУТП тепловых электростанций // Управление и информационные технологии (УИТ-2006). – СПб.: СПб. гос. электротехн. ун-т, 2006. – С. 196-201; Таламанов С.А. Совершенствование методологии автоматизации настройки систем регулирования в составе АСУТП тепловых электростанций: дис. д-ра техн. наук: 05.13.06: защищена 27.10.06. – Иваново, ИГЭУ, 2006.

## **20.2. Обобщенная техническая структура полигона АСУТП электростанций**

В основу технической структуры полигона АСУТП (рис. 20.2.1) положена обобщенная структура промышленной АСУТП электростанции.

Техническая структура<sup>4</sup> полигона АСУТП электростанций содержит группу рабочих станций оперативного персонала, группу рабочих станций неоперативного персонала, группу ЭВМ модели объекта управления, группу рабочих станций проектирования, группу рабочих станций инструктора, группу физических контроллеров, группу виртуальных контроллеров, группу исполнительных устройств, группу адаптеров связи, группу ЭВМ связи и четыре сетевых коммутатора.

Группа рабочих станций оперативного персонала и группа рабочих станций неоперативного персонала являются рабочими местами обучаемого эксплуатационного персонала и соответствуют рабочим местам управления реального энергетического оборудования. На ЭВМ группы рабочих станций оперативного персонала работает прикладное программное обеспечение операторских станций АСУТП. На ЭВМ группы рабочих станций неоперативного персонала работает прикладное программное обеспечение инженерных, архивной и других станций АСУТП. Количество рабочих станций определяется количеством обучаемого оперативного и неоперативного персонала.

Группа физических контроллеров соответствует нижнему уровню управления реальной АСУТП энергетического оборудования. Отличием от реальной АСУТП является наличие группы виртуальных контроллеров (моделей контроллеров), которые имитируют работу физических контроллеров.

В физических и виртуальных контроллерах работает прикладное (алгоритмическое) программное обеспечение реальной АСУТП, экспериментальные алгоритмы.

---

<sup>4</sup> Патент № 2282248. Устройство подготовки эксплуатационного персонала энергетического оборудования / Ю.С. Тверской, С.А. Таламанов, А.В. Голубев, А.Н. Никоноров, И.Е. Харитонов; №2005101012. Заявл. 18.01.2005; Опубл. 20.08.2006. Бюл. № 23.

# ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

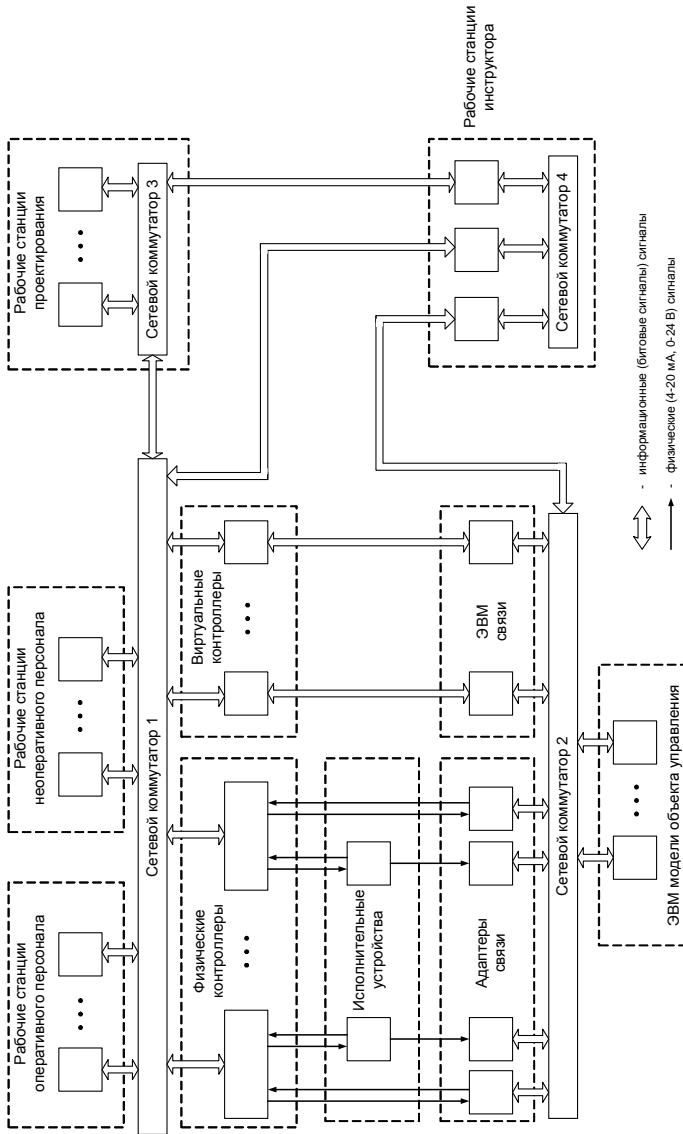


Рис. 20.2.1. Техническая структура полигона АСУТП электростанций

Соотношение между количеством виртуальных и реальных контроллеров определяется минимально необходимым для обучения неоперативного персонала количеством типовых электрических исполнительных устройств технологического объекта управления.

Группа рабочих станций оперативного персонала и группа рабочих станций неоперативного персонала через первый сетевой коммутатор связаны с группой физических контроллеров и группой виртуальных контроллеров. В комплексе группы рабочих станций оперативного и неоперативного персонала и группы физических и виртуальных контроллеров образуют единую автоматизированную систему управления моделируемым энергетическим оборудованием.

Моделирование энергетического оборудования, датчиков и исполнительных устройств выполняется в группе ЭВМ модели объекта управления, которая соединена с группой физических контроллеров и группой виртуальных контроллеров посредством второго сетевого коммутатора, группы адаптеров связи и группы ЭВМ связи. Количество ЭВМ модели объекта управления определяется сложностью имитационной модели и их вычислительной мощностью.

Связи ЭВМ модели объекта управления с физическими контроллерами реализованы в виде физических токовых сигналов и сигналов по напряжению, а связи с виртуальными контроллерами реализованы виртуально по информационной сети. Физические связи реализованы посредством группы адаптеров связи, а виртуальные связи – посредством группы ЭВМ связи.

Часть типовых исполнительных устройств реализована в виде физических электрических исполнительных устройств, которые подключены к физическим контроллерам через адаптеры связи.

Группа рабочих станций инструктора является рабочим местом руководителя обучения и обеспечивает управление тренингом, в том числе обеспечивает задание сценариев обучения и управляет работой программного обеспечения рабочих станций оперативного персонала, неоперативного персонала и проектирования.



## ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

---

На первой рабочей станции инструктора работает программное обеспечение с интерфейсом управления группой ЭВМ модели объекта управления.

На второй рабочей станции инструктора работает программное обеспечение, соответствующее программному обеспечению операторской станции, но с дополнительным набором функций по управлению рабочими станциями оперативного и неоперативного персонала, физическими и виртуальными контроллерами.

На третьей рабочей станции инструктора работает программное обеспечение, соответствующее программному обеспечению рабочих станций проектирования.

Группа рабочих станций проектирования (разработки программно-математического обеспечения) является рабочими местами обучаемых, выполняющих проектирование и наладку систем автоматизированного управления для энергетического оборудования. На станциях проектирования разрабатывается прикладное программное обеспечение для рабочих станций оперативного и неоперативного персонала, а также прикладное программное обеспечение для физических и виртуальных контроллеров. Число рабочих станций проектирования определяется количеством персонала, обучаемого проектированию и наладке.

Приведенная техническая структура обеспечивает получение желаемого результата: тестирование отдельных алгоритмов, опробование работы автоматизированной системы управления в целом, обучение группы специалистов, состоящей из оперативного и неоперативного персонала, взаимодействующих между собой в процессе эксплуатации технологического оборудования, а также специалистов, выполняющих проектирование и наладку систем автоматизированного управления технологического оборудования.

Приведенная техническая структура реализована на «Полигоне АСУТП электростанций» Учебно-научного центра «АСУТП в энергетике» ИГЭУ, который обеспечивает эффективное решение всех выше перечисленных задач, в том числе поддержку учебного процесса по направлению «Управление в технических системах».

### 20.3. Общая характеристика многофункционального учебно-исследовательского комплекса «Полигон АСУТП электростанций»

Идея создания многофункционального учебно-исследовательского комплекса «Полигон АСУТП электростанций» возникла, по-видимому, вместе с первыми разработками автоматизированных систем проектирования и обучения (АСО на базе ЭВМ) в 70-80-х годах прошлого века, реализующих принцип обучения в режиме профессиональной деятельности<sup>5</sup>.

Первое промышленное внедрение комплексного проекта по разработке и полигонным испытаниям микропроцессорных систем управления котлов с пылесистемами прямого вдувания также было достаточно убедительным фактом высокой эффективности новой технологии ввода сложных систем управления<sup>6</sup>.

В конце 1990-х годов модернизация традиционных систем контроля и управления и информационно-вычислительных систем на ряде крупнейших тепловых электростанций региона стала неизбежной необходимостью<sup>7</sup>. Таким образом, задача развертывания учебно-исследовательского лабораторного комплекса для подготовки специалистов по направлениям новой технологии АСУТП электростанций приобрела особую актуальность.

Концепция «Полигона АСУТП электростанций» исходно была опробована в виде стендов на базе ряда программно-

---

<sup>5</sup> Тверской Ю.С., Киселев П.А., Баллод Б.А. Автоматизированная система обучения АСОЗ ЭВМ Мир-2: Информ. листок № 117-82. – Иваново: ЦНТИ, 1982. – 2 с.; Тверской Ю.С. К вопросу об обучении в условиях автоматизации проектирования // Автоматизация проектирования в энергетике и электротехнике: Межвуз. сб. Вып.2 / Иван. энерг. ин-т им. В.И.Ленина.– Иваново:, 1979. – С.142-150.

<sup>6</sup> Тверской Ю.С. Автоматизация котлов с пылесистемами прямого вдувания. – М.: Энергоатомиздат, 1996. – 256 с.

<sup>7</sup> Модернизация АСУТП электростанций / Ю.С. Тверской, С.А. Таламанов, А.В. Мулин, М.Ю. Тверской // Теплоэнергетика. – 1998. – №10. – С.40-43; О формировании технической политики электростанций по модернизации систем контроля и управления и созданию полнофункциональных АСУТП / В.К. Крайнов, В.Н. Шамко, Ю.С. Тверской и др. // Электрические станции. – 2002. – №1. – С.10-13.

## ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

---

технических комплексов (НПО «Системотехника», НВТ «Автоматика», «Текон», НПК «Элара» и др.).

В комплексном проекте «Полигон АСУТП электростанций» был реализован с применением ПТК «Квинт» как наиболее функционального и распространенного на энергетических предприятиях Центра России<sup>8</sup>.

Функциональная структура Полигона включает в себя две подсистемы<sup>9</sup>: управляющая подсистема, предназначенная для контроля состояния технологического оборудования, охватываемого АСУТП, и формирования управляющих воздействий на исполнительные устройства, и подсистема моделей объектов управления, предназначенная для имитации на Полигоне работы технологического оборудования и исполнительных устройств.

Взаимодействие между ними организовано как на уровне физических связей (сигналов модулей аналогового и дискретного ввода–вывода), так и на уровне информационного обмена. В целом это позволило выполнять не только разработку прикладного программного обеспечения локальных систем управления, но и получать полноценно функционирующие в режиме реального времени полигонные многофункциональные АСУТП котла и энергоблока.

Техническая структура Полигона, как уже отмечалось, включает в себя:

- информационно-вычислительный комплекс в составе компьютеров рабочих станций оперативного контура, рабочих станций проектирования, станции контроля качества и автоматизации настройки автоматических систем регулирования (АСР), станции моделирования;

- управляющий комплекс ПТК «Квинт» в составе четырех контроллеров «Ремиконт Р-210», контроллера «Ремиконт Р-310»

---

<sup>8</sup> Развертывание «Полигона АСУТП электростанций» осуществлялось при материальной и финансовой поддержке ОАО «Костромская ГРЭС», ОАО «Вологдаэнерго», ГНЦ «НИИТеплоприбор», «НПК «Элара», ООО НПП «ИНОТЭК» и грантов Министерства образования и науки Российской Федерации. Полигон был принят в штатную эксплуатацию в октябре 2001 года.

<sup>9</sup> Тверской Ю.С., Голубев А.В., Никоноров А.Н. «Полигон АСУТП электростанций» – эффективное средство подготовки специалистов и тестирования сложных систем управления // Теплоэнергетика. – 2011. – №10. – С. 70-75.

## ГЛАВА 20. ТЕХНИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПОЛИГОНОВ АСУТП ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

---

и контроллера «Ремиконт Р-380», состоящих из комплекта базовых и проектно-компонруемых модулей УСО;

- сетевой комплекс в составе системной и контроллерных сетей, в том числе концентратор, шлюзы и сетевые платы рабочих станций;

- полевое оборудование в виде типовых электрических исполнительных устройств (два регулирующих клапана, запорная арматура, быстродействующий соленоидный клапан, два электродвигателя механизма собственных нужд) с надстроеными математическими моделями тепломеханического оборудования.

Программное обеспечение Полигона включает в себя: общесистемное (операционные системы), инструментальное (фирменные программные средства ПТК) и прикладное (в виде полигонных АСУТП тепломеханического оборудования ТЭС) программное обеспечение.

Возможны следующие режимы функционирования Полигона:

- штатной работы объекта в структуре АСУТП;
- наладки функций АСУТП;
- наладки ПТК АСУТП;
- проектирования прикладного ПО АСУТП.

### *Режим штатной работы*

В режиме штатной работы Полигон функционирует как тренажерный комплекс автоматизированного энергетического объекта, ориентированный на подготовку операторов-технологов. При этом операторы-технологи получают возможность изучать как технологии формирования элементов операторского интерфейса (структура экрана операторской станции, виды изображений, иерархия видеogramм, отображения трендов сигналов технологических параметров и др.), так и приобрести навыки дистанционного дисплейного управления исполнительными устройствами, осваивать взаимодействие с отдельными функциональными задачами АСУТП и др.

## ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

---

К специальным задачам, решаемым на Полигоне в режиме его штатной работы, относятся задачи анализа (мониторинга): непрерывный контроль качества функционирования АСР и их диагностика, осуществляемые по трендам сигналов, регистрируемых в архиве АСУТП, путем вычисления прямых показателей качества, расходных характеристик регулирующих органов и др.<sup>10</sup>

### *Режим наладки функций АСУТП*

В этом режиме Полигон обеспечивает изучение и опробование управления исполнительными устройствами и технологическим оборудованием с помощью операторского интерфейса, опробование типовых и отработку новых алгоритмов управления. Кроме того, техническая и функциональная структуры Полигона позволяют изучить функционирование отдельных приложений АСУТП (например, архивирование параметров, анализ событий, расчет технико-экономических показателей и др.), что достаточно сложно осуществить на реальном оборудовании.

При проведении режимно-наладочных работ изучаются:

- технология экспериментальной настройки алгоритмов систем регулирования с уровня инженерной станции,
- технология диагностирования каналов регулирования,
- технология контроля качества автоматического управления,
- методы автоматизированной настройки систем регулирования, а также выполняется отработка методик автоматизации настройки АСР, предполагающая выполнение процедур идентификации и параметрического синтеза АСР, учитывающих неопределенность (случайный характер) математических моделей объектов управления и гарантирующих заданное качество

---

<sup>10</sup> Технология АСУТП электростанций / Под ред. д-ра техн. наук, проф. Ю.С. Тверского: Тр. междунар. науч.-техн. конф. «XII Бенардосовские чтения». – Иваново: Изд. ИГЭУ, 2005. –164 с.; Таламанов С.А. Концепция построения станции контроля и качества автоматического регулирования и автоматизации настройки АСР в составе АСУТП тепловых электростанций // Управление и информационные технологии (УИТ-2006). – СПб.: СПб. гос. электротехн. ун-т, 2006. С. 196-201.

автоматического регулирования (обеспечивающих робастную настройку АСР).

Примером задачи, решаемой на Полигоне в режиме наладки функций АСУТП, может служить отработка такой сложной функции, как автоматизированный пуск котла.

#### *Режим наладки ПТК*

В этом режиме на Полигоне осуществляется освоение технологии работы с аппаратными средствами современных ПТК. Изучаются состав и компоновка микропроцессорных контроллеров (модулей базового и проектно-компонованного комплектов); особенности монтажа как самого ПТК, так и его сопряжения с датчиками и исполнительными устройствами; тестирование контроллеров и модулей УСО с использованием имитаторов сигналов и калибраторов модулей УСО; проверка питания и заземления шкафов; физический пуск контроллеров и др.

Специальной задачей для режима наладки ПТК является исследование динамических свойств управляющих каналов ПТК, которые, являясь интеллектуальной собственностью производителя, как правило, закрыты для пользователя.

Экспертиза декларируемых возможностей ПТК выполняется путем определения областей существования «виртуально-непрерывных» законов преобразования сигналов (областей «нормальной» работы алгоритмов). Ясное представление конкретных возможностей контроллера позволяет учитывать имеющиеся ограничения и при вводе в действие АСУТП обеспечить нормальную работоспособность системы регулирования<sup>11</sup>. **Такую оценку рекламируемых возможностей ПТК необходимо проводить для всех ПТК, предлагаемых на рынке АСУТП, в обязательном порядке (как один из основных пунктов сертификации ПТК).**

Кроме этого, имеется возможность изучения информационно-вычислительного комплекса (конфигурирование и испол-

---

<sup>11</sup> Тверской Ю.С., Голубев А.В. Исследование и анализ факторов, влияющих на динамические свойства управляющих каналов контроллеров в составе ПТК // Автоматизация в промышленности. – 2003. – №5. – С.5-8.

## ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

---

нение рабочих станций), сетевых средств (системная сеть, шлюзы, коммутаторы, концентраторы), базового программного обеспечения (операционные системы).

### *Режим проектирования*

В режиме проектирования Полигон позволяет изучить: фирменное (инструментальное) программное обеспечение контроллеров и рабочих станций ПТК; технологию разработки базы данных АСУТП; проектирование операторского интерфейса.

При проектировании операторского интерфейса имеется возможность освоения технологии разработки мнемосхем (видеограмм), порядка проектирования изображений, меню и основных приемов работы с редактором, анимации и рецепции изображений. Это особенно важно знать технологическому персоналу при участии в разработке технического задания и формировании требований к поставщику ПТК и разработчику АСУТП.

На уровне контроллеров Полигон позволяет изучить виртуальную структуру и содержание библиотеки алгоритмов, алгоритмические схемы типовых задач АСУТП (ввода и обработки информации, сопряжения с исполнительными устройствами, автоматического регулирования и др.).

Комплексной интегрирующей задачей, решаемой на Полигоне в режиме проектирования, является формирование компетенций специалистов путем разработки полигонных многофункциональных АСУТП.

Под полигонной АСУТП понимается автоматизированная человеко-машинная система, которая отличается от промышленного образца (прототипа) информационным масштабом. Иными словами, объемом моделируемого технологического оборудования и исполнительных устройств, а также ограничениями по режимам работы.

Разработка таких систем позволяет освоить все основные этапы стадий функционального (алгоритмический синтез) и технологического (ввод в действие) проектирования современной технологии создания сложных систем.

## ГЛАВА 20. ТЕХНИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПОЛИГОНОВ АСУТП ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

В целом Полигон позволяет решать широкий комплекс задач, связанных с опережающей подготовкой различных категорий специалистов, участвующих в процессе создания и эксплуатации АСУТП электростанций, а также выполнять исследовательские (экспериментальные) работы, направленные на совершенствование сложных наукоемких функций систем управления. Этим проблемам развиваемая научная школа уделяет достаточно большое внимание<sup>12</sup>. При этом ограничения в реализации функциональных задач Полигона связаны в основном с представительностью (адекватность и точность) нелинейных (всережимных) динамических имитационных моделей, «погруженных» в структуру ПТК АСУТП<sup>13</sup>.

---

<sup>12</sup> Имитационные модели технологического оборудования в составе полигонных версий АСУТП тепловых электростанций (опыт реализации и перспективы промышленного применения) / Ю.С. Тверской, С.А. Таламанов, А.Н. Никоноров и др. // Управление и информационные технологии (УИТ). – СПб.: СПб.ГЭТУ, 2003. Т.2. – С.147-151; Таламанов С.А., Никоноров А.Н. Разработка на стенде ПТК «Квинт» имитационной модели технологического оборудования в составе демонстрационной версии системы автоматизации котлоагрегата ТГМП-114 энергоблока 300 МВт // Состояние и перспективы развития электротехнологии (IX Бенардосовские чтения): Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. / Иван. гос. энерг. ун-т им. В.И.Ленина. – Иваново, 1999. – С.80; Тверской Ю.С., Таламанов С.А., Никоноров А.Н. Особенности реализации имитационных моделей непрерывных технологических объектов в составе АСУТП тепловых электростанций // Идентификация систем и задачи управления (SICPRO '04). – М.: Институт проблем управления, 2004. – С. 660-672; Тверской Ю.С., Таламанов С.А., Никоноров А.Н. Повышение квалификации и профессиональная подготовка специалистов энергопредприятий в области современных АСУТП // Технология АСУТП электростанций: Тр. междунар. науч.-техн. конф. XII Бенардосовские чтения. Под ред. д-ра техн. наук, проф. Ю.С. Тверского / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И.Ленина». – Иваново, 2005. – С. 132-134.

<sup>13</sup> Имитационная модель пылесистем по схеме прямого вдувания паровых котлов (теоретические основы и технология реализации на полигоне АСУТП) / Ю.С. Тверской, С.А. Таламанов, А.Н. Никоноров и др. //Теплоэнергетика.–2005. – №9. – С. 61-69; Имитационные модели технологического оборудования в составе полигонных версий АСУТП тепловых электростанций (опыт реализации и перспективы промышленного применения) / Ю.С. Тверской, С.А. Таламанов, А.Н. Никоноров и др. // Управление и информационные технологии (УИТ). – СПб.: СПб.ГЭТУ, 2003. – Т.2. – С.147-151.



#### **20.4. Анализ требований к математическому обеспечению полигонов АСУТП электростанций**

Важной проблемой, связанной с созданием полигонов АСУТП электростанций, является вопрос выбора средств реализации математических моделей управляемого оборудования. Ведь именно возможности ПТК определяют выбор уровня сложности математической модели, который должен быть, с одной стороны, достаточным для решения поставленных задач, а с другой – приемлемым для возможности ее реализации в составе полигона АСУТП.

Как правило, возможности ПТК для реализации моделей технологического оборудования существенно уступают специализированным системам имитационного моделирования. Однако они обладают одним несомненным преимуществом – отсутствием необходимости в организации специальных связей подсистемы модели и подсистемы управления, которые в этом случае функционируют в едином информационном пространстве.

К недостаткам ПТК как средства реализации имитационных моделей можно отнести эффект квантования по уровню сигналов, используемых в контроллерах, выражающийся в занижении точности задания числовых значений, и достаточно большое время цикла контроллера (эффект квантования по времени), влияющее на точность расчетов и ограничивающее возможный объем модели. Кроме того, реализация сложной динамической модели крупного энергетического объекта может потребовать значительных дополнительных ресурсов технических средств ПТК (контроллеров)<sup>14</sup>.

Другой проблемой является ориентированность библиотек алгоритмов исключительно на задачи управления, что зачастую приводит к необходимости упрощения математических моделей. К тому же, как правило, разработчик ПТК не предоставляет информацию об используемых вычислительных методах, что за-

---

<sup>14</sup> Тверской Ю.С., Таламанов С.А., Никоноров А.Н. Особенности реализации имитационных моделей непрерывных технологических объектов в составе АСУТП тепловых электростанций // Идентификация систем и задачи управления (SICPRO '04). – М.: Институт проблем управления, 2004. – С. 660-672.

трудняет оценку корректности реализации конкретного класса математических моделей.

К неудобствам моделирования сложных технологических объектов средствами ПТК относится также необходимость отладки модели исключительно в режиме реального времени, что значительно увеличивает длительность этапа разработки модели.

Использование специализированных средств имитационного моделирования упрощает процесс разработки сложных высокоточных моделей технологических объектов управления, но в то же время требует решения проблемы сопряжения подсистемы модели с подсистемой управления, работающих в режиме реального времени.

Исходя из специфики теплоэнергетических объектов и задач, решаемых полигонами АСУТП электростанций, можно сформулировать следующие требования к функционирующим в их составе имитационным моделям:

- всережимность (математическая модель должна корректно воспроизводить все возможные режимы функционирования реального объекта);
- адекватность (модель должна обеспечивать удовлетворительное соответствие статических и динамических характеристик реальному объекту);
- открытость (модель должна допускать свою модификацию при изменении свойств объекта моделирования);
- универсальность (модель должна быть направлена на решение широкого класса задач);
- реальность (модель должна функционировать в реальном масштабе времени);
- реализуемость (модель должна быть реализуема средствами ПТК АСУТП или универсальными средствами имитационного моделирования).

Нелинейная динамическая модель технологического объекта управления, удовлетворяющая предъявленным требованиям, видимо, должна строиться на основе математического описания технологических процессов, происходящих на реальном

## ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

---

объекте, в виде алгебраических и дифференциальных уравнений фундаментальных физических законов.

Трудность состоит в том, чтобы обоснованно выбрать приемлемую степень сложности модели (требования всережимности и универсальности), обеспечивающую достаточно высокую ее точность (требование адекватности) и возможность реализации имеющимися средствами (требование реализуемости).

В то же время средства реализации моделей, функционирующих в составе АСУТП теплоэнергетических объектов, должны удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечение связи модели с АСУТП;
- высокая точность задания числовых значений;
- высокая скорость вычислений (обеспечение устойчивого функционирования модели в реальном времени);
- возможность сохранения/загрузки состояний (срезов) моделируемого объекта;
- открытость реализуемых алгоритмов и вычислительных методов.

Организация специальных каналов обмена данными между моделью технологического объекта управления и подсистемой управления необходима только в случае, когда моделирование осуществляется средствами, внешними для базового ПТК АСУТП. Если модель объекта реализуется средствами самого ПТК, то и подсистема модели, и подсистема управления функционируют в едином информационном пространстве и не требуют организации специальной связи между ними.

Точность задания числовых значений зависит от внутреннего формата представления чисел и в большинстве современных средств имитационного моделирования не вносит весомых погрешностей в результаты расчетов.

Требование к обеспечению достаточной скорости вычислений в большей степени относится не к самому средству моделирования, а к используемым вычислительным средствам. При этом даже очень мощный компьютер может оказаться неспособным к расчету математической модели высокой степени сложности в реальном времени.

Возможность восстановления ранее сохраненного состояния модели технологического объекта является обязательным условием при реализации тренажерной функции полигонов. В этом случае инструктор может быстро предоставить оператору какой-либо срез моделируемого объекта (например, полностью остановленное оборудование, работа на номинальной нагрузке, предаварийное состояние и т.п.).

Требование к открытости реализуемых алгоритмов и вычислительных методов связано с тем, что без этих сведений сложно оценить корректность выполнения расчетов, а также наличие тех или иных ограничений на структуру математической модели.

Выполнение предъявленных требований к имитационным моделям реального времени и к средствам их реализации позволяет использовать полигоны АСУТП тепловых электростанций как эффективное средство поддержки новой сквозной технологии создания и эксплуатации АСУТП на всех ее стадиях, включая разработку проектной документации и сопроводительных документов.

## 20.5. Краткое резюме

1. Впервые разработана техническая структура полигона АСУТП электростанций, включающая группы рабочих станций оперативного персонала, рабочих станций неоперативного персонала, ЭВМ модели объекта управления, рабочих станций проектирования, рабочих станций инструктора, физических контроллеров, виртуальных контроллеров, исполнительных устройств, адаптеров связи, ЭВМ связи и сетевые коммутаторы.

2. Техническая структура программно-технического средства доведена до уровня специализированного многоцелевого многофункционального тренажерного комплекса «Полигон АСУТП электростанций», позволяющего осуществлять как решение научно-исследовательских задач, нацеленных на повышение эффективности АСУТП, так и подготовку (переподготовку) специалистов, в том числе оперативного и неоперативного персонала электростанций.

3. Сформулированы требования к имитационным моделям реального времени и к средствам их реализации, выполнение которых обеспечивает использование полигонов АСУТП тепловых электростанций как эффективного средства поддержки новой технологии создания и эксплуатации АСУТП.

4. Возможности «Полигона АСУТП электростанций» целесообразно использовать при **сертификации ПТК** с целью объективной оценки их декларируемых возможностей.

*Надо не только знать то, что надо делать  
в той или иной ситуации, но и быть готовым  
к такому развитию событий.*

*Из методического пособия для футболистов*

## **ГЛАВА 21. ТЕХНОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОЛИГОННЫХ АСУТП ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ (опыт разработки)<sup>1</sup>**

### **21.1. Этапы технологии построения многофункциональных полигонных АСУТП электростанций**

Техническая и функциональная структуры «Полигона АСУТП электростанций», его математическое и программное обеспечение позволяют создавать полноценно функционирующие в режиме реального времени многофункциональные полигонные АСУТП энергоблоков и электростанций.

Под полигонной АСУТП (АСУТП, реализованная средствами полигона, далее «полигонная АСУТП») понимается система, которая отличается от базового (промышленного) прототипа меньшим объемом моделируемого технологического оборудования и исполнительных устройств и, как правило, некоторыми ограничениями по режимам работы. Иными словами, полигонная АСУТП имеет меньший информационный масштаб.

Полигонные АСУТП тепломеханического оборудования энергоблоков ТЭС позволяют разрабатывать как локальные системы управления технологическими объектами, так и комплексные многофункциональные системы.

Это позволяет вести обучение в режиме реальной профессиональной работы и качественно улучшить учебный процесс

---

<sup>1</sup> А.Н. Никоноров, Ю.С. Тверской.

## ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

---

подготовки специалистов по новой информационной технологии управления, а также выполнять широкие научные исследования по совершенствованию алгоритмов автоматического управления технологическим оборудованием и повышению качества функционирования АСУТП объектов энергетики в целом.

Предлагаемая методика построения полигонных АСУТП включает в себя пять основных этапов.

### **Этап 1. Разработка концепции и требований к полигонной АСУТП:**

- шаг 1.1* – определение цели и задач разработки;
- шаг 1.2* – выделение технологических зон объекта управления (технологические подсистемы);
- шаг 1.3* – формирование требований к задачам автоматического управления;
- шаг 1.4* – формирование требований и ограничений к имитационной модели ТОО;
- шаг 1.5* – выбор (обоснование) базового ПТК;
- шаг 1.6* – выбор средств реализации имитационной модели.

### **Этап 2. Разработка подсистемы модели объекта управления:**

- шаг 2.1* – декомпозиция объекта управления на компоненты;
- шаг 2.2* – разработка математической модели для каждого компонента;
- шаг 2.3* – определение параметров математических моделей;
- шаг 2.4* – разработка имитационной модели объекта управления универсальными средствами моделирования;
- шаг 2.5* – тестирование и отладка имитационной модели в универсальной среде имитационного моделирования;
- шаг 2.6* – реализация имитационной модели в среде ПТК АСУТП;
- шаг 2.7* – комплексное тестирование и отладка подсистемы модели в среде реального времени.

**Этап 3. Разработка подсистемы управления:**

- шаг 3.1* – разработка информационно-функциональных структур системы управления в соответствии с требованиями нормативно-технической документации;
- шаг 3.2* – синтез алгоритмов решения задач автоматического управления;
- шаг 3.3* – заполнение оперативной базы данных АСУТП;
- шаг 3.4* – разработка алгоритмических схем (программ) контроллеров;
- шаг 3.5* – разработка операторского интерфейса.

**Этап 4. Ввод в действие и проведение испытаний детерминированной полигонной АСУТП:**

- шаг 4.1* – запуск детерминированной динамической имитационной модели объекта управления в режиме реального времени;
- шаг 4.2* – загрузка технологических программ в реальные и виртуальные контроллеры;
- шаг 4.3* – тестирование и отладка алгоритмов подсистемы управления;
- шаг 4.4* – автоматизированная настройка и параметрическая оптимизация систем автоматического регулирования;
- шаг 4.5* – комплексные испытания полигонной АСУТП.

**Этап 5. Разработка подсистемы генерации случайных эксплуатационных возмущений:**

- шаг 5.1* – характеристика особенностей реальных эксплуатационных возмущений по каналам регулирования ТОО;
- шаг 5.2* – выбор (обоснование) алгоритмов генерации моделей случайных процессов и определение параметров этих моделей;
- шаг 5.3* – реализация алгоритмов генерации моделей случайных возмущений в среде ПТК АСУТП;



## ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

---

- шаг 5.4* – комплексное тестирование и отладка подсистемы генерации случайных эксплуатационных возмущений по каналам регулирования;
- шаг 5.5* – запуск стохастической динамической имитационной модели объекта управления в режиме реального времени;
- шаг 5.6* – спектрально-корреляционный анализ трендов (реализаций) сигналов параметров, искаженных действием случайных возмущений;
- шаг 5.7* – автоматизированная настройка и параметрическая оптимизация систем автоматического регулирования в условиях действия случайных возмущений.

Нетрудно видеть, что развиваемая методика разработки полигонных АСУТП во многом повторяет технологию создания многофункциональных АСУТП энергоблоков и отличается тем, что в ней присутствуют этапы (и шаги), связанные с моделированием технологического объекта управления, включая действующие на него случайные эксплуатационные возмущения. Рассмотрим некоторые особенности отдельных этапов приведенной методики.

**На первом этапе** в зависимости от цели и задач разрабатываемой полигонной АСУТП формируется ее общая структура (техническая, функциональная, информационная).

Ключевым вопросом первого этапа и всей методики построения полигонных АСУТП является выбор средств разработки имитационных моделей объектов управления. Во многом этот выбор определяется сформулированными требованиями к имитационной модели. Одним из возможных вариантов является реализация моделей ТОУ универсальными средствами моделирования, например в среде имитационного моделирования VisSim. Этот вариант подразумевает функционирование в контуре АСУТП станции моделирования. Другим вариантом является реализация моделей ТОУ средствами ПТК АСУТП.

Более подробно вопрос выбора способа реализации имитационных моделей ТОУ в составе полигонных АСУТП будет рассмотрен ниже в разд. 21.2.

**На втором этапе** сложный технологический объект управления структурируется и представляется состоящим из отдельных участков (конструктивных или технологических компонентов), которые разбиваются на элементарные объемы (модель со сосредоточенными параметрами). Обосновывается уровень сложности математической модели исходя из задач, выполняемых полигонной АСУТП. Для каждого элементарного объема составляется уравнение баланса на основе законов сохранения массы, количества движения, энергии, а также феноменологических уравнений состояния рассматриваемых процессов.

Выполняемые на **третьем этапе** действия полностью идентичны процедуре разработки прикладного программного обеспечения промышленной АСУТП.

**Четвертый этап** соответствует работам по вводу в эксплуатацию промышленной АСУТП.

Задачей **пятого этапа** является выбор вида моделей случайных эксплуатационных возмущений, который должен быть основан на результатах статистических исследований трендов (реализаций) основных сигналов АСР в различных режимах работы технологического объекта управления.

В этой связи перспективным видится развитие базы данных «Фонд экспериментальных характеристик объектов энергетики» путем добавления в него библиотеки реальных случайных эксплуатационных возмущений (в виде трендов сигналов и математических моделей) по различным параметрам теплоэнергетических процессов<sup>2</sup>.

Более подробно некоторые важные особенности предлагаемой методики создания полигонных АСУТП будут рассмотрены ниже.

---

<sup>2</sup> Фонд экспериментальных динамических характеристик паровых котлов тепловых электрических станций / Д.Ю. Тверской, И.Е. Харитонов, С.А. Таламанов, Ю.С. Тверской // Теплоэнергетика. – 2005. – №10. – С.32-35; Фонд экспериментальных характеристик объектов энергетики (базовая версия) // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2008620101 (Заявка №2007620323 от 12.10.2007) / Ю.С. Тверской, Д.Ю. Тверской, И.Е. Харитонов, С.А. Таламанов, А.Н. Никоноров // Запер. 18.02.2008.

## **21.2. Исследование способов реализации имитационных моделей ТОУ в составе полигонных АСУТП электростанций**

### **21.2.1. Реализация имитационных моделей ТОУ универсальными средствами моделирования**

Имитационные модели технологических объектов находят все большее применение как при создании тренажеров оперативного персонала, так и в целях проверки и отладки алгоритмов управления сложным оборудованием. Имитационные модели технологических объектов управления, реализованные в универсальных системах имитационного моделирования, будем называть «универсальными».

Для реализации имитационных моделей сложных динамических объектов в составе полигонных АСУТП отдадим предпочтение универсальной системе имитационного моделирования VisSim. Эта система широко используется в учебном процессе и научных исследованиях<sup>3</sup>.

Важной особенностью системы имитационного моделирования VisSim является возможность расширения библиотеки алгоритмов за счет создания пользовательских блоков. Пример структурной схемы реализованной в системе имитационного моделирования VisSim упрощенной модели циркуляционного контура барабанного котла показан на рис. 21.2.1.

Для удобства проектирования сложных моделей в системе имитационного моделирования VisSim имеется возможность создавать составные блоки – макроблоки. Так, например, макроблок «Пароперегреватель» состоит из вложенных блоков, каждый из которых реализует либо модель поверхности нагрева, либо модель пароохладителя. Структурная схема содержимого макроблока «Пароперегреватель» приведена на рис. 21.2.2.

Однако для полноценного функционирования «универсальной» модели совместно с АСУТП энергоблока необходимо

---

<sup>3</sup> Дьяконов В. VisSim+Mathcad+MATLAB. Визуальное математическое моделирование. – М.: Солон-пресс, 2004. – 383 с.

## ГЛАВА 21. ПОЛИГОННЫЕ АСУТП ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

предусмотреть средства сопряжения подсистем модели и управления.

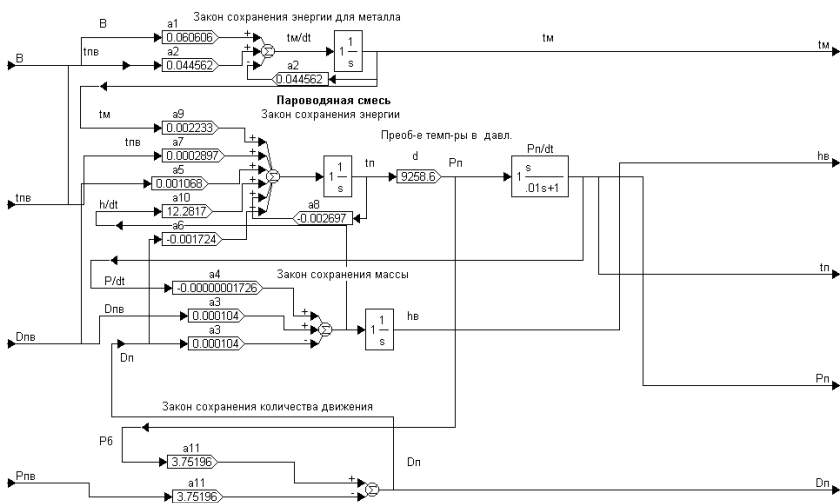


Рис. 21.2.1. Пример структурной схемы модели циркуляционного контура

Существуют несколько технологий обмена данными для систем имитационного моделирования. Первая – внедрение ActiveX объектов других программных продуктов. Вторая – динамический обмен данными между программами посредством DDE или OPC серверов/клиентов. Третья – создание библиотечных модулей с новыми процедурами и функциями. Система имитационного моделирования VisSim поддерживает все три механизма организации обмена данными.

Наиболее удобной представляется методика подключения внешних, динамически загружаемых библиотек (dll), в рамках которой пользователь может, используя известный ему язык программирования (C, C++, Pascal, Delphi, Basic, Fortran), разрабатывать собственные процедуры и функции для связи с внешним объектом.

## ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

ПТК «Квинт» также позволяет обмениваться пакетами сигналов с внешними программными средствами. Для этой цели используется средство «Виртуальный контроллер», с которым через алглобки, имитирующие работу модулей УСО (АЦП, ЦИП, ЦДП, ДЦП), связывается «универсальная» модель ТОУ.

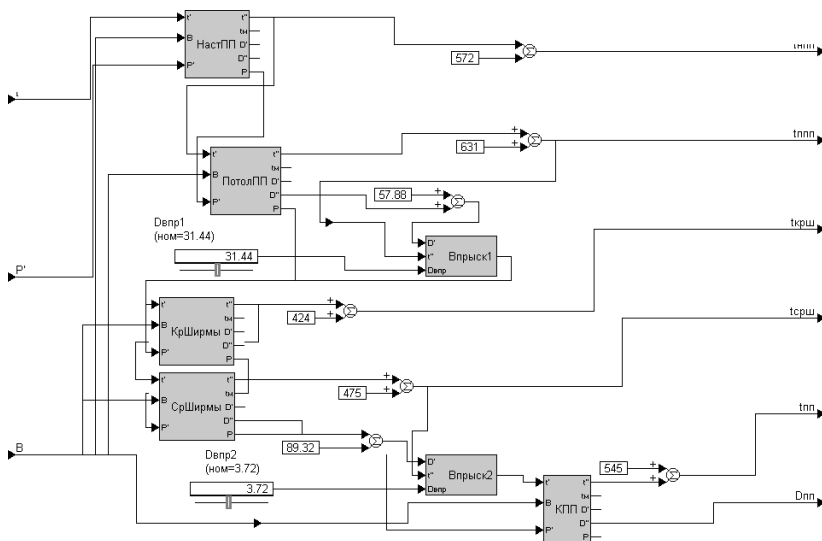


Рис. 21.2.2. Пример структурной схемы макроблока «пароперегреватель»

### **21.2.2. Реализация имитационных моделей ТОУ стандартными средствами ПТК**

Рассмотренную выше «универсальную» имитационную модель затруднительно использовать непосредственно в составе АСУТП в связи с тем, что она не привязана к режиму реального времени и изначально не оснащена средствами сопряжения с управляющей частью ПТК АСУТП. В этих условиях более удобным вариантом будет реализация модели реального вре-

мени для управляемого технологического оборудования также средствами ПТК<sup>4</sup>.

Реализация проводится путем разработки прикладного ПО контроллеров подсистемы «Модель». Для этого в системе технологического программирования контроллеров (например, инструментальное программное средство «Пилон» в составе ПТК «Квинт СИ»<sup>5</sup>) создаются алгоритмические схемы имитационной модели реального времени. Разработанное ПО контроллеров подсистемы «Модель» функционирует в непосредственном взаимодействии с управляющей подсистемой.

Однако механический перенос «универсальной» модели из системы имитационного моделирования в алгоритмическую схему (программу) контроллера ПТК «Квинт» невозможен. Это связано с некоторыми ограничениями, накладываемыми особенностями внутреннего представления сигналов в контроллерах Ремиконт (диапазон изменения «внутренних» сигналов от -200 % до +200 % с дискретностью 0,0122 %; диапазон изменения коэффициентов пропорциональности от -256 до +256 с дискретностью 0,008 и т.д.). Учет этих ограничений приводит к необходимости тщательного контроля диапазона изменений переменных «универсальной» модели при разработке на ее основе алгоритмических схем контроллеров подсистемы «Модель» (рис. 21.2.3).

### **21.2.3. Реализация имитационных моделей специализированными средствами ПТК**

Важность и актуальность имитационного моделирования подтверждается стремлением производителей ПТК предоставить средства для разработки имитационных моделей объектов управления.

---

<sup>4</sup> Никоноров А.Н., Тверской Ю.С. О проблемах реализации имитационных моделей сложных технологических объектов в среде реального времени ПТК АСУТП электростанций / Управление и информационные технологии (УИТ-2008): Докл. 5-й науч. конф. В 2 т. / СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – СПб., 2008. – Т.1. – С.202-206.

<sup>5</sup> Квинт СИ. Программно-технический комплекс для автоматизации производственных процессов. Краткие сведения. – М., 2006.

## ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

Наиболее преуспевшим в этом направлении является отечественный ПТК «Квint СИ» (производства ОАО «НИИТеплоприбор»), в состав которого включена расчетная станция «Мезон». Расчетная станция «Мезон» представляет собой среду имитационного моделирования с широким перечнем алглобков и встроенной библиотекой типовых моделей элементов энергетического оборудования.

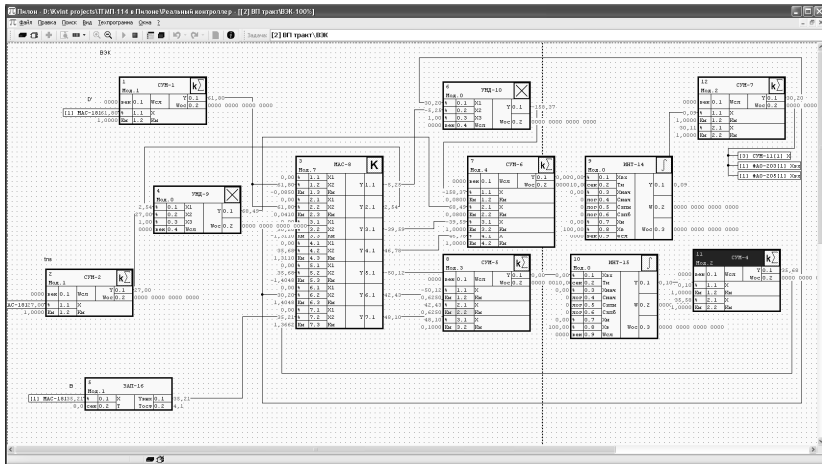


Рис. 21.2.3. Вид фрагмента алгоритмической схемы (технологической программы) контроллера Ремиконт Р-310 подсистемы «Модель», который разработан по «элементарной» модели уравнения сохранения энергии

Главным преимуществом реализации имитационных моделей технологических объектов управления в расчетной станции «Мезон» является отсутствие необходимости дальнейшей связи подсистемы модели и подсистемы управления. В этом случае и модель объекта и управляющая система реализуются и функционируют в единой информационной среде ПТК «Квint СИ». При этом модель, реализованная в расчетной станции «Мезон», незначительно уступает в точности модели, реализованной с помощью специализированных средств моделирования.

## ГЛАВА 21. ПОЛИГОННЫЕ АСУТП ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

ПТК «Квинт СИ» позволяет проводить тестирование технологических программ и отладку алгоритмов управления в отсутствие «настоящего» контроллера. Для этой цели в расчетной станции «Мезон» реализован «Виртуальный контроллер», в который через алгоблоки, имитирующие работу модулей УСО, загружается имитационная модель объекта управления.

Среди особенностей моделирования технологических объектов управления в расчетной станции «Мезон» можно выделить возможность расширения библиотеки алгоритмов за счет добавления новых, написанных на языке программирования C#, а также возможность запоминания и в последующем восстановления определенного состояния объекта моделирования<sup>6</sup> (рис. 21.2.4).

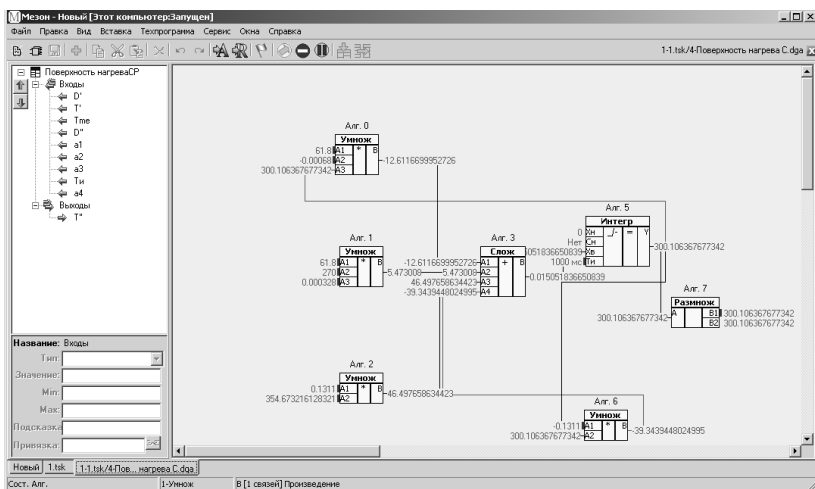


Рис. 21.2.4. Вид фрагмента алгоритмической схемы модели экономайзера барабанного котла, реализованной в расчетной станции «Мезон»

<sup>6</sup> Никоноров А.Н., Скворцов Д.Л. Особенности моделирования технологических объектов управления в расчетной станции «МЕЗОН» // Состояние и перспективы развития электротехнологии (XIV Бенардосовские чтения): Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. В 2 т. / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И.Ленина». – Иваново, 2007. – Т.1. – С. 118.



#### 21.2.4. Сравнительный анализ средств имитационного моделирования

Сопоставление средств имитационного моделирования было выполнено путем сравнения динамических характеристик однотипных моделей пылеугольного котла, реализованных в расчетной станции «Мезон», в системе имитационного моделирования «VisSim» и в системе технологического программирования «Пилон». В ходе экспериментов на модели подавались возмущения по расходу первичного воздуха –  $1,8 \text{ м}^3/\text{с}$  (5% ХРО). При этом велись наблюдения за температурой аэросмеси за сепаратором  $T_{\text{се}}$  и током двигателя мельницы  $I_M$  (рис. 21.2.5, 21.2.6).

По полученным кривым видно, что точность модели, реализованной в расчетной станции «Мезон», значительно выше, чем у аналогичной модели, созданной в системе технологического программирования «Пилон», и практически не уступает такой же модели в системе имитационного моделирования «VisSim».

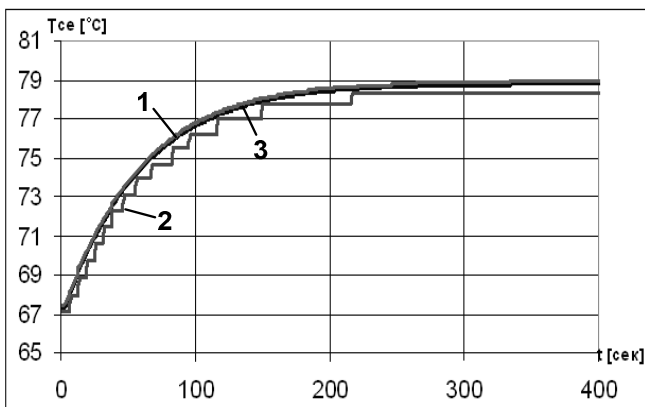


Рис. 21.2.5. Динамическая характеристика температуры аэросмеси за сепаратором при возмущении расходом первичного воздуха ( $\Delta G_{\text{пв}} = 1,8 \text{ м}^3/\text{с}$ ):  
1 – «VisSim»; 2 – «Пилон»; 3 – «Мезон»

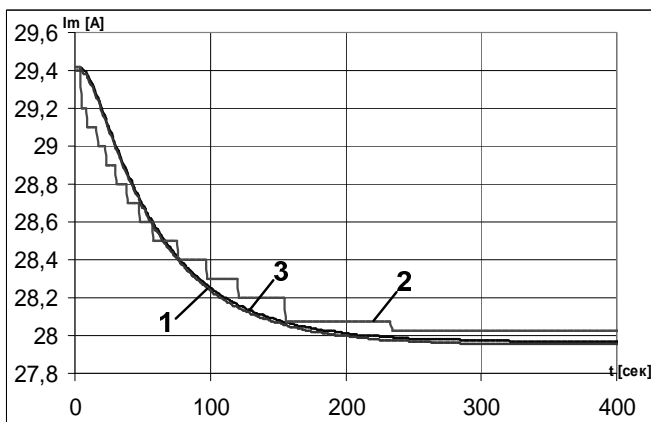


Рис. 21.2.6. Динамическая характеристика тока двигателя мельницы при возмущении расходом первичного воздуха ( $\Delta G_{\text{пв}} = 1,8 \text{ м}^3/\text{с}$ ):  
 1 – «VisSim»; 2 – «Пилон»; 3 – «Мезон»

На основании результатов проведенных испытаний можно сделать вывод, что расчетная станция «Мезон» является полноценной средой моделирования, а разработанные в ней модели не уступают по точности моделям, реализованным в специализированных системах имитационного моделирования.

Расхождения в сравниваемых процессах можно объяснить следующим:

1) инструментальная система технологического программирования «Пилон», изначально не предназначена для имитационного моделирования, использование ее в этих целях накладывает ряд ограничений (невысокая точность расчетов, достаточно большое время цикла контроллера, небольшая библиотека алгоблоков и др.);

2) для корректного сравнения результатов эксперимента необходимо подавать на все рассматриваемые модели объектов управления абсолютно одинаковые возмущения, что в реальности сделать достаточно сложно.

### **21.3. Опыт разработки полигонной АСУТП пылеугольного барабанного котла**

#### **21.3.1. Разработка концепции полигонной АСУТП пылеугольного барабанного котла (этап №1 методики)**

Предлагаемая методика создания полигонных АСУТП была отработана на примере разработки полигонной АСУТП пылеугольного барабанного котла ТПЕ-208 энергоблока 200 МВт Череповецкой ГРЭС.

Функциональная структура полигонной АСУТП включает в себя две подсистемы<sup>7</sup>:

– управляющая подсистема, предназначенная для контроля состояния технологического оборудования, охватываемого АСУТП, и формирования управляющих воздействий на исполнительные устройства (реализуется средствами ПТК «Квинт СИ»);

– подсистема модели объекта управления, предназначенная для имитации работы технологического оборудования и части исполнительных устройств (реализуется специализированными средствами ПТК «Квинт СИ»).

Взаимодействие между подсистемой модели и подсистемой управления организуется на уровне информационного обмена между контроллерами управления и «виртуальными» контроллерами модели.

Техническая структура полигонной АСУТП включает:

– информационно-вычислительный комплекс в составе компьютеров рабочих станций оперативного контура, рабочих станций проектирования, станции моделирования;

---

<sup>7</sup> Имитационные модели технологического оборудования в составе полигонных версий АСУТП тепловых электростанций (опыт реализации и перспективы промышленного применения) / Ю.С. Тверской, С.А. Таламанов, А.Н. Никоноров и др. // Управление и информационные технологии (УИТ). – СПб.: СПб.ГЭТУ, 2003. Т.2. – С.147-151; К освоению новой технологии построения АСУТП тепловых электростанций / Ю.С. Тверской, С.А. Таламанов, А.Н. Никоноров и др. // Новое в российской электроэнергетике. – 2001. – №8. – С. 18-25.

## ГЛАВА 21. ПОЛИГОННЫЕ АСУТП ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

---

- управляющий комплекс в составе промышленных контроллеров, состоящих из комплекта базовых и проектно-компонованных модулей устройств связи с объектом;
- сетевой комплекс в составе системной и контроллерных сетей, в том числе, концентратор, шлюзы и сетевые платы рабочих станций;
- стойку типовых электрических исполнительных устройств (регулирующие клапаны, запорная арматура, быстродействующие соленоидные клапаны, электродвигатели механизмов собственных нужд).

В качестве управляющего комплекса выступают контроллеры Ремиконт Р-380. Их работу имитируют алгоблоки «Виконт», входящие в состав библиотеки алгоритмов расчетной станции «Мезон» и работающие на станции моделирования.

Связь между рабочими станциями осуществляется по системной сети верхнего уровня – Ethernet 10Mb/c через свитч «CNet SWITCH CNSH-1600».

Барабанный пылеугольный котел с пылесистемой по схеме прямого вдувания топлива в топку является сложным теплотехническим агрегатом. При создании полигонной АСУТП котлоагрегата ТПЕ-208 объектом моделирования являлся не весь котел, а только его отдельные функциональные зоны.

Котел ТПЕ-208 является двухкорпусным, причем оба корпуса однотипны и могут работать независимо друг от друга, поэтому в дальнейшем рассматривается отдельный корпус котла.

В математическую модель котла включены следующие участки водопарового тракта:

- водяной экономайзер;
- циркуляционный контур;
- настенный пароперегреватель;
- потолочный пароперегреватель;
- ширмовый пароперегреватель;
- конвективный пароперегреватель.

К водопаровому тракту относятся также два впрыска, расположенные до и после ширмового пароперегревателя.

## ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

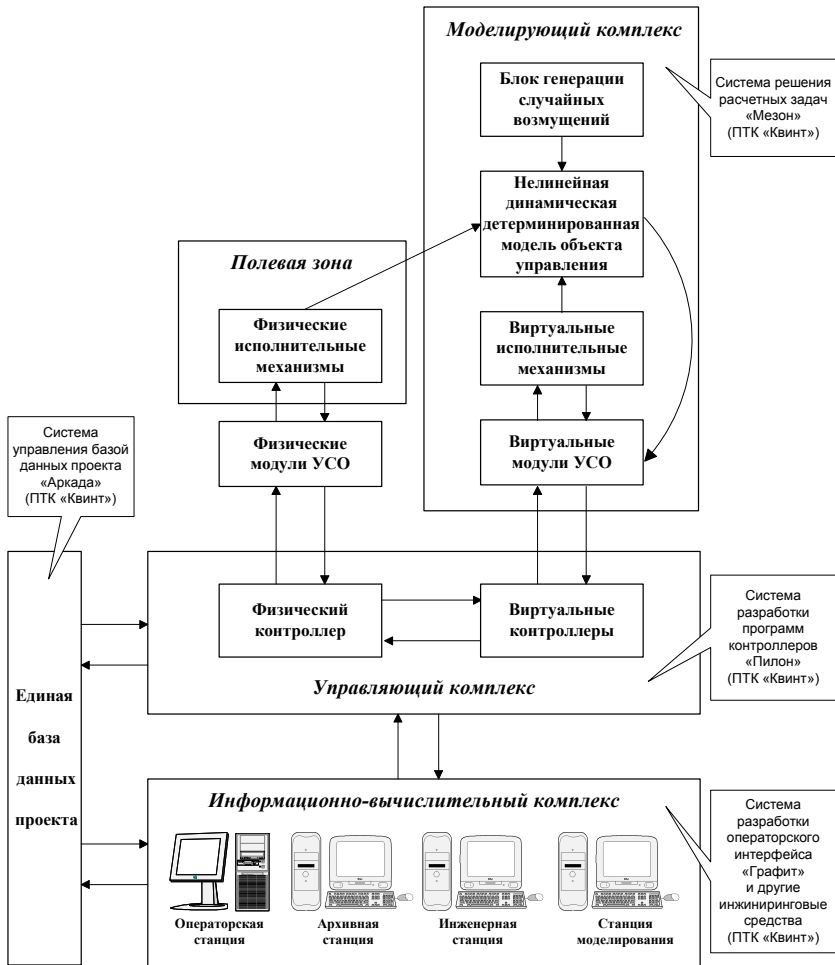


Рис. 21.3.1. Информационная схема полигонной АСУТП

Для впрыска используется вода, конденсирующаяся из пара, отбираемого из тракта после барабана котла (впрыск собственного конденсата).

Модель топливного тракта включает в себя пылесистему прямого вдувания, состоящую из четырех молотковых мельниц ММТ-1500/2510-740 с комбинированными питателями сырого угля.

Газовоздушный тракт котла представлен моделями следующих элементов:

- дутьевой вентилятор;
- воздухоподогреватель;
- дымосос.

Кроме того, в модель котла включена основная запорная и регулирующая арматура трактов котла.

Информационная схема разрабатываемой полигонной АСУТП представлена на рис. 21.3.1.

В основе информационной структуры полигонной АСУТП лежит информационная сеть, которая объединяет в единое целое отдельные базы данных проектов: «Аркада», «Пилон», «Операторская станция».

Единая база данных проекта находится на одном компьютере, который сочетает в себе функции «Операторской станции» и «Сервера проекта». Также по информационной сети в режиме реального времени идет обмен данными между «Операторской станцией» и «Архивной станцией».

### **21.3.2. Разработка подсистемы модели объекта управления (этап №2 методики)**

Разработка и программная реализация математической модели теплообменных установок, являющихся основным элементом компоновки паровых котлов, подробно рассмотрены в отдельной книге<sup>8</sup>. Здесь рассмотрим реализацию подсистемы

---

<sup>8</sup> Тверской Ю.С., Никоноров А.Н., Пронин Д.А. Прикладное обеспечение полигонов АСУТП электростанций / Под ред. Ю.С. Тверского / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново, 2012. – 174 с.

## ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

модели на примере топливоприготовительной системы с молотковыми мельницами ММТ-1500/2510-740<sup>9</sup>.

В основу имитационной модели положены уравнения математической модели с сосредоточенными параметрами<sup>10</sup>.

Уравнения материального баланса:

– для количества топлива, циркулирующего в системе мельница-сепаратор,

$$\frac{dM}{dt} = B_1 - k_a B_2; \quad (21.3.1)$$

– потока мельничного продукта

$$\frac{dB_3}{dt} = (\bar{B}_1(c) - \alpha B_3) \frac{B_3}{M}; \quad (21.3.2)$$

– потока готовой топливозвоздушной смеси

$$\frac{dB_2}{dt} = (\alpha B_3 - k_a B_2) \frac{G_c}{V}, \quad (21.3.3)$$

где  $B_1$  – расход сырого топлива, кг/с;  $k_a$  – коэффициент пересчета на влажность топлива;  $B_2$  – расход готовой пыли, кг/с;  $B_3$  – расход мельничного продукта;  $M$  – масса топлива, циркулирующего в системе «мельница-сепаратор»;  $\alpha$  – коэффициент учета циркуляции топлива в системе «мельница-сепаратор»;  $\bar{B}_1(c)$  – расчетная размольная производительность мельницы, кг/с;  $G_c$  – расход отработанного сушильно-вентилирующего агента, м<sup>3</sup>/с.

---

<sup>9</sup> Нелинейная динамическая модель пылесистем прямого вдувания котлов электростанций / Д.Ю. Тверской, В.В. Корольков, Е.Д. Маршалов, А.Н. Никоноров, Ю.С. Тверской // Управление и информационные технологии» (УИТ-2008): Докл. 5-й науч. конф. В 2 т. / СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – СПб., 2008. – Т.2. – С. 100-102; Тверской Ю.С. Автоматизация котлов с пылесистемами прямого вдувания. – М.: Энергоатомиздат, 1996. – 256 с.

<sup>10</sup> Тверской Д.Ю. Разработка и исследование динамических моделей пылесистем прямого вдувания для автоматизации тепловых электростанций: дис. ...канд техн. наук: 05.13.06: защищена 09.10.09. – Иваново, ИГЭУ, 2009; Тверской Ю.С., Никоноров А.Н. «Полигон АСУТП электростанций» – 10 лет успешной эксплуатации // Повышение эффективности энергетического оборудования: Матер. VI междунар. науч.-практ. конф.; Под ред. А.В. Мошкарин / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И.Ленина». – Иваново, 2011. – С. 393-398.

Уравнение теплового баланса

$$(\tilde{n}_0 \dot{V} + \tilde{n}_i m_i) \frac{dT_{\tilde{n}\tilde{a}}}{dt} = Q_1 - Q_2, \quad (21.3.4)$$

где

$$Q_1 = G_V c_V (t_V + 273) \rho_V + K_{i \tilde{a}\tilde{o}} N_{\tilde{o}\tilde{a}} \dot{V};$$

$$Q_2 = \frac{W_p - W^n}{100 - W^n} (2490,5 + 1,9T_{\tilde{n}\tilde{a}} - 4,19t_T) B_1 + G_c c_c \rho_c (T_{\tilde{n}\tilde{a}} - 5) + 42L + \\ + \frac{100 - W_p}{100} \left( c_T^c + \frac{4,19W^n}{100 - W^n} \right) (T_{\tilde{n}\tilde{a}} - t_T) B_1.$$

Здесь  $c_T$  – теплоемкость сырого топлива, Дж/кг·К;  $T_{ce}$  – температура азросмеси за сепаратором, °С;  $Q_1$  – теплота, подводимая в мельницу, Дж/с;  $Q_2$  – теплота, отводимая из мельницы, Дж/с;  $G_V$  – расход первичного воздуха, м<sup>3</sup>/с;  $c_V$  – теплоемкость первичного воздуха, Дж/кг·К;  $t_V$  – температура первичного воздуха, °С;  $\rho_V$  – плотность первичного воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $K_{мех}$  – коэффициент механических потерь в тепло при измельчении угля;  $N_{y\tilde{o}}$  – удельная мощность, прикладываемая к единице массы размалываемого топлива, Вт/кг;  $W_p$  – влажность сырого топлива, %;  $W_n$  – влажность пыли, %;  $c_{\tilde{o}}^n$  – теплоемкость сухой массы топлива, Дж/кг·К;  $t_T$  – температура сырого топлива, °С;  $c_c$  – теплоемкость сушильного агента, Дж/кг·К;  $\rho_c$  – плотность сушильного агента за сепаратором, кг/м<sup>3</sup>.

Дополнительно к этой системе необходимо рассмотреть уравнение состояния в виде нелинейного эмпирического выражения расчетной размольной производительности мельницы

$$\bar{B}_1(c) = a C_{\tilde{e}\tilde{i}\tilde{n}\tilde{o}} K_{D\tilde{Q}} K_{\tilde{o}\tilde{i}\tilde{e}} K_{\tilde{a}\tilde{a}\tilde{i}\tilde{o}} (1,43N_i - 1)^n, \quad (21.3.5)$$

где  $a$ ,  $n$  – коэффициенты, учитывающие тип мельницы и сепаратора;  $C_{конст}$  – коэффициент, характеризующий конструктивные особенности мельницы;  $K_{рзм}$  – коэффициент, характеризующий размол в мельнице;  $K_{тонк}$  – коэффициент, характеризующий тонину помола;  $K_{вент}$  – коэффициент, характеризующий вентиляцию мельницы;  $N_{хх}$  – мощность холостого хода мельницы.



## ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

Открытость структурного построения математической модели позволяет развить результат путем подключения к системе аэродинамических уравнений<sup>11</sup>:

$$\frac{dB_3}{dt} = \frac{B_3}{G_c} \frac{dG_c}{dt} + (\bar{B}_1(c) - \alpha B_3) \frac{B_3}{M}; \quad (21.3.6)$$

$$\frac{dG_c}{dt} = -\frac{(LD)^2}{M} (H_x - H_p) + LDg - \frac{G_c}{V} (K_v G_c - G_v); \quad (21.3.7)$$

$$\frac{dP_2}{dt} = -\frac{MG_c}{VLD} g + \frac{G_c}{V} (P_1 - P_2) - \frac{MG_c^2}{V^2(LD)^2} (K_v G_c - G_v) + \frac{1}{V} \left( \frac{1}{2} \cdot \frac{G_c^2}{(LD)^2} + \frac{V}{LD} g \right) \frac{dM}{dt}, \quad (21.3.8)$$

где  $P_1$  – давление сушильно-вентилирующего агента в коробе первичного воздуха (перед мельницей);  $P_2$  – давление сушильно-вентилирующего агента за мельницей (в пылепроводе);  $\Delta P = P_1 - P_2 = \Delta H = H_x - H_p$  – гидравлическое сопротивление мельничной установки с вращающимся ротором (перепад давления на мельнице), определяется по нелинейному эмпирическому выражению.

Реализация имитационной модели выполнялась в расчетной станции «Мезон» ПТК «Квинт СИ». При этом большая часть уравнений математической модели была реализована при помощи алгоблока «Формула», который позволяет внедрять программный код, написанный на языке высокого уровня С# (рис. 21.3.2)<sup>12</sup>.

### **21.3.3. Реализация подсистемы управления (этап № 3 методики)**

Разработка алгоритмических схем контроля и управления производится в системе технологического программирования

---

<sup>11</sup> Тверской Д.Ю. Разработка и исследование динамических моделей пылесистем прямого вдувания для автоматизации тепловых электростанций: дис. ...канд техн. наук: 05.13.06: защищена 09.10.09. – Иваново, ИГЭУ, 2009.

<sup>12</sup> С#: Пер. с англ./ Х. Дейтел, Дж. Листфилд, Т. Нието, Ш. Йегер, М. Златкина. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 1056 с.

## ГЛАВА 21. ПОЛИГОННЫЕ АСУТП ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

«Пилон». «Пилон» – программный пакет, входящий в состав ПТК «Квинт СИ» и предназначенный для подготовки технологических программ, загружаемых в контроллер.

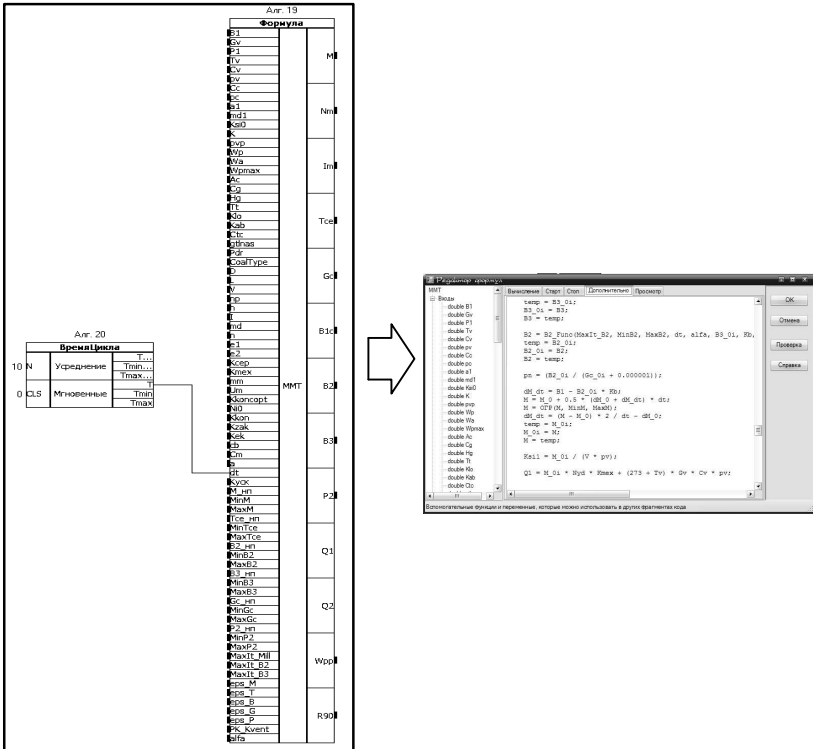


Рис. 21.3.2. Иллюстрация к реализации модели технологического объекта в блоке «Формула» расчетной станции «Мезон»

Передача информационных и управляющих сигналов между контроллером и имитационной моделью объекта управления ведется через модули УСО (АЦП, ЦИП, ЦДП, ДЦП).

Осуществляется передача следующих типов сигналов:

## ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

- сигналы от датчиков контроля технологических параметров;
- сигналы от датчиков положения исполнительных механизмов;
- сигналы состояния исполнительных механизмов (концевые выключатели);
- управляющие сигналы на исполнительные механизмы.

Фрагмент схемы передачи сигналов между имитационной моделью ТОУ и виртуальным контроллером представлены на рис. 21.3.3.

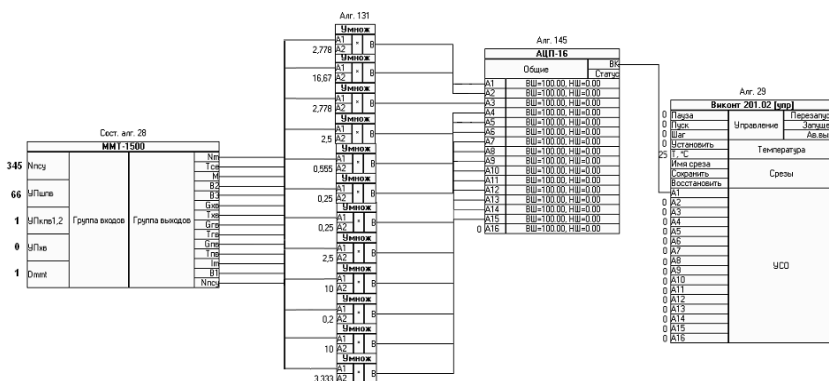


Рис. 21.3.3. Схема передачи сигналов от имитационной модели виртуальному контроллеру:

ММТ-1500 – имитационная модель молотковой мельницы ММТ-1500/2510-740;

АЦП-16 – имитационная модель АЦП;

Виконт – виртуальный контроллер

Разработка подсистемы управления включает в себя реализацию основных функциональных задач АСУТП, в том числе контроль и архивацию параметров, технологическую сигнализацию, автоматическое регулирование.

Под задачей контроля технологических параметров понимается отображение информации от датчиков на мнемосхеме оператора. Решение этой задачи реализуется через стандартный алгоблок ФАО (формирователь аналоговый объектный). Данный алгоблок позволяет производить

## ГЛАВА 21. ПОЛИГОННЫЕ АСУТП ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

формирование объектов типа «Аналоговый датчик» с возможностью формирования значения сигнала, а также выделения признаков технологической сигнализации и недостоверности.

Фрагмент алгоритмической схемы решения задачи контроля технологических параметров приведен на рис. 21.3.4.

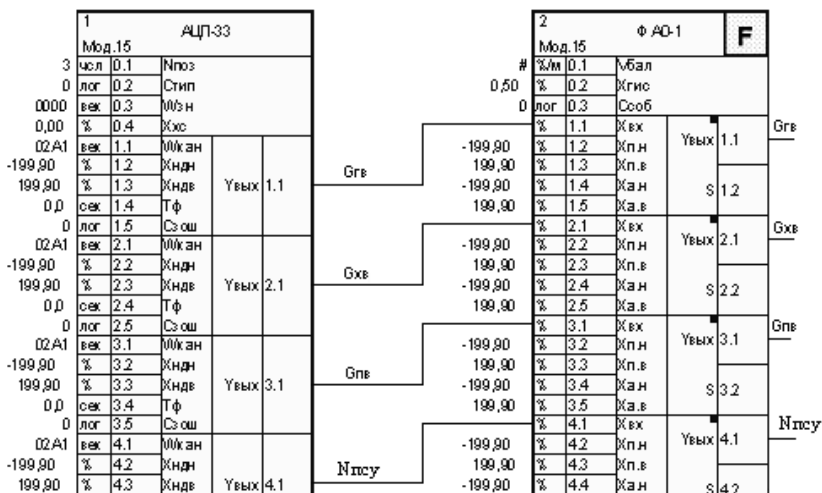


Рис. 21.3.4. Фрагмент алгоритмической схемы решения задач контроля технологических параметров

Под задачей архивации технологических параметров понимается сохранение информации о наиболее важных параметрах технологического объекта управления. Данная задача решается путем соединения выхода алгоблока ФАО с входом алгоблока информационного вывода ИВЫ, который настроен на архивную станцию. Алгоритмическая схема решения задачи архивации технологических параметров представлена на рис. 21.3.5.

Под задачей сигнализации технологических параметров понимается передача информации оператору при выходе контролируемых параметров за допустимые пределы в виде

## ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

световой индикации. Данная задача реализуется через алгоритм ФАО.

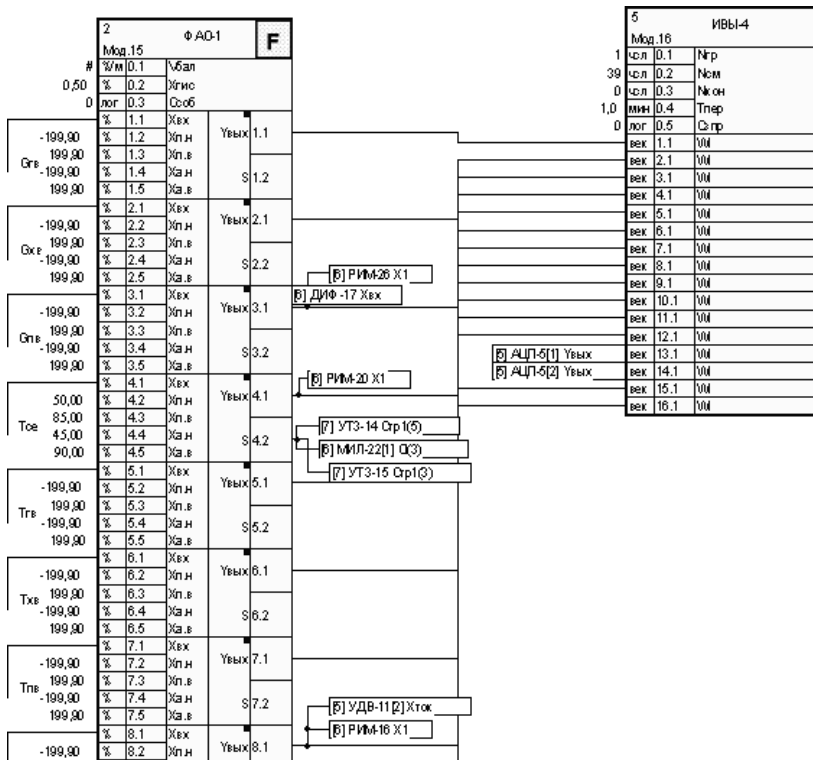


Рис. 21.3.5. Фрагмент алгоритмической схемы решения задачи архивации технологических параметров

Необходимые пределы для технологической сигнализации устанавливаются на соответствующих входах ФАО (см. рис. 21.3.5):

– на входе  $X_{п.н}$  задается нижний предупредительный порог;

## ГЛАВА 21. ПОЛИГОННЫЕ АСУТП ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

- на входе  $X_{п.в}$  задается верхний предупредительный порог;
- на входе  $X_{а.н}$  задается нижний аварийный порог;
- на входе  $X_{а.в}$  задается верхний аварийный порог.

При выходе параметра за допустимые пределы на операторской станции происходит выделение фона выводимого параметра. При превышении предупредительного порога фон выводимого параметра становится желтым, при превышении аварийного порога – красным.

Алгоритмические схемы регулирования реализуются через алгоритмы РИМ (регулятор импульсный). Регулятор импульсный предназначен для управления исполнительным механизмом постоянной скорости. Совместно с этим механизмом регулятор реализует ПИД-закон регулирования.

В регуляторе выполняются следующие основные функции:

- формирование сигнала задания;
- выделение сигнала рассогласования;
- формирование управляющего воздействия.

Регулятор может работать в различных режимах (автоматический, ручной), причем переключение режимов выполняется безударно. На вход регулятора могут подаваться два аналоговых сигнала – немасштабируемый сигнал регулируемого параметра и масштабируемый сигнал коррекции. На выходе регулятора помимо выходного сигнала  $Y_{вых}$  формируется ряд дополнительных сигналов (статус  $S$ , сигнал задания  $Y_{здн}$ , сигнал рассогласования  $Y_{рас}$  и т.д.).

Импульсный регулятор относится к категории каскадных алгоритмов. С помощью специального входа  $X_{кск}$  и выхода  $Y_{вых}$  регулятор включается в каскадную цепочку, которая может синхронно и безударно включаться и отключаться путем перехода в режим слежения. Для организации слежения регулятор имеет специальный вход слежения  $W_{сл}$  и выход обратного счета  $W_{ос}$ .

На рис. 21.3.6 приведен фрагмент алгоритмической схемы регулирования загрузки мельницы.

На вход  $X1$  (регулируемый параметр) алгоритма РИМ поступает сигнал от датчика тока двигателя мельницы. На вход

## ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

X2 (сигнал коррекции) заведен сигнал по скорости изменения расхода первичного воздуха в мельницу. Для управления питателем сырого угля в регулятор введены оптимальные параметры настройки, сигналы от концевых выключателей. Управляющий сигнал от регулятора передается к исполнительному механизму.

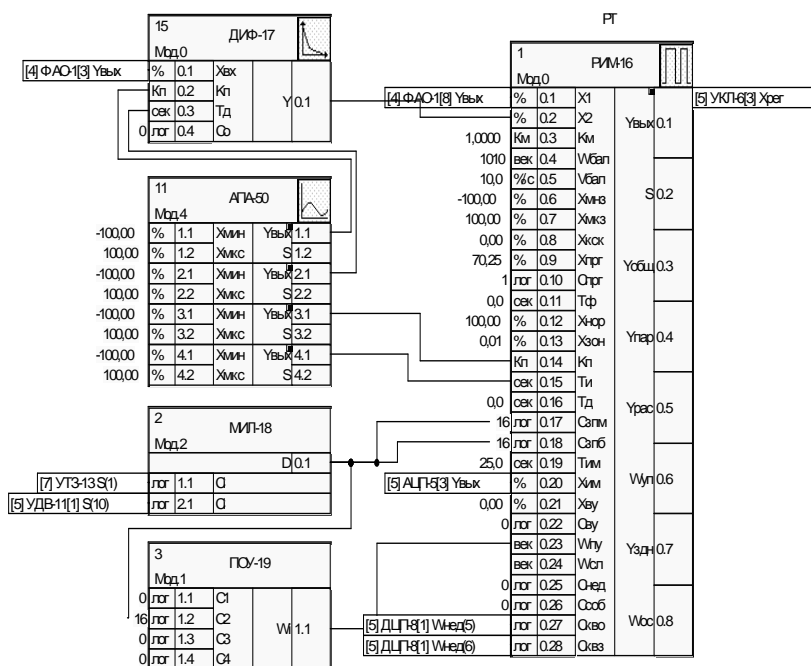


Рис. 21.3.6. Фрагмент алгоритмической схемы регулирования подачи топлива в мельницу

Разработка операторского интерфейса и видеogramм ведется в специализированном графическом средстве – «Графит».

Информация, отображаемая на операторской станции, позволяет получить оператору полный спектр данных по

## ГЛАВА 21. ПОЛИГОННЫЕ АСУТП ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

состоянию ТООУ, так что применения других традиционных контрольно-измерительных приборов и ключей управления не требуется.

При работе с операторской станцией ПТК «Квинт СИ» вся информация, выводимая на экран, отображается в двух областях: системной и рабочей.

В системной области, расположенной по краям экрана, отображается информация о составе агрегатов и главное меню с экранными клавишами. Системная область всегда видна, ее содержание однозначно определено на стадии подготовки прикладных программ, и она, как правило, не закрывается другими изображениями.

В рабочую область, расположенную в центральной части экрана, выводятся оперативная информация в виде мнемосхем, объектных окон, списков сигнализации, списков событий, графиков и т.п.

Системная область состоит из верхней и нижней панелей.

Верхняя панель (рис. 21.3.7) содержит общесистемную информацию – состояние сигнализации (технологической, приборной, сетевой), текущее время и дату. На ней также располагаются мнемосимволы узлов, с помощью которых осуществляются вызов привязанных к ним мнемосхем и индикация технологических ошибок, соответствующих объектам данных мнемосхем.



Рис. 21.3.7. Верхняя панель системной области

На нижней панели (рис. 21.3.8) размещены кнопки управления изображениями – изменение масштаба изображения, упорядочивания нескольких открытых окон и т.п.



Рис. 21.3.8. Нижняя панель системной области



## ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

Мнемосхемы являются основным средством для контроля состояния технологических параметров, запорной и регулирующей арматуры и других объектов установки. Они также используются для вызова объектных окон и нанесения управляющих воздействий.

Мнемосхема «Мельница ММТ-1500/2510-740» представлена на рис. 21.3.9.

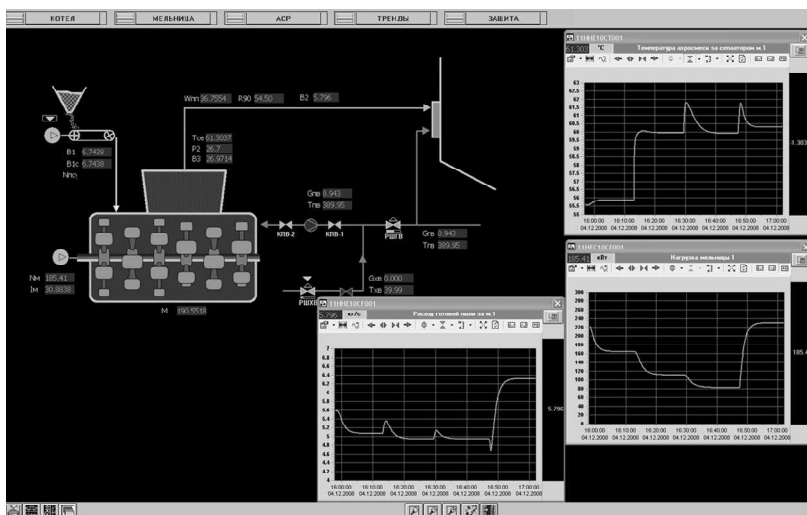


Рис. 21.3.9. Мнемосхема «Мельница ММТ-1500/2510-740»

Мнемосимвол – это условное изображение объекта или узла на видеогорамме, отражающее его текущее состояние. Каждый тип объекта (задвижка, двигатель, регулятор и т.п.) имеет свой мнемосимвол, с каждым типом объекта может быть связано несколько изображений мнемосимволов.

С помощью мнемосимволов выполняются функции информационной подсистемы – контроль за ходом технологического процесса, состоянием оборудования энергоустановки, аварийная и предупредительная сигнализация.

## ГЛАВА 21. ПОЛИГОННЫЕ АСУТП ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Как правило, они также используются для вызова объектных окон соответствующих типов объектов.

При создании мнемосхем полигонной АСУТП часть мнемосимволов была взята из встроенной библиотеки мнемосимволов, входящей в состав графической среды «Графит», а часть разработана дополнительно к имеющимся.

К дополнительно разработанным мнемосимволам относятся:

- мнемосимвол, изображающий работающую мельницу (рис. 21.3.9);
- мнемосимвол, изображающий движущийся транспортер ПСУ (рис. 21.3.10);
- мнемосимвол, изображающий падающий уголь на транспортер ПСУ (рис. 21.3.11).



Рис. 21.3.10. Анимационный динамический мнемосимвол, изображающий транспортер ПСУ



Рис. 21.3.11. Анимационный динамический мнемосимвол, изображающий падающий на транспортер ПСУ уголь

Разработанные мнемосимволы содержат по несколько изображений, поочередная смена которых позволяет создать движущиеся картинки – так называемые анимационные динамические мнемосимволы.

Объектные окна реализуют функции подсистемы дистанционного управления, подсистемы управления механизмами собственных нужд, запорными и регулируемыми органами, частично (локально) функцию контроля

информационной подсистемы и поэтому являются неотъемлемой частью проектируемого операторского интерфейса. Они представляют собой диалоговые окна и позволяют оператору получить доступ к информации, относящейся непосредственно к одному из объектов операторской станции (например, задвижка, клапан, датчик аналоговый, регулятор импульсный и др.). В большинстве случаев они также служат для нанесения управляющих воздействий на объект.

Следует отметить, что при привязке к конкретному технологическому объекту управления мнемосхема может быть легко скорректирована под принятые на станции (ТЭС) обозначения.

#### ***21.3.4. Ввод в действие и проведение испытаний полигонной АСУТП пылеугольного барабанного котла (этап № 4 методики)***

Результаты вычислительных экспериментов на полученной имитационной модели пылесистемы прямого вдувания представлены на рис. 21.3.12, 21.3.13.

Таким образом, техническая и функциональная структура Полигона, его математическое и программное обеспечение позволили успешно применить предложенную методику для разработки полноценно функционирующей в режиме реального времени полигонной АСУТП пылеугольного барабанного котла (рис. 21.3.14).

В соответствии с рассмотренной методикой на Полигоне разработаны и функционируют также полигонные АСУТП следующих энергетических объектов:

- газомазутного котла ТГМП-1202 блока 1200 МВт;
- газомазутного котла ТГМП-114 дубль-блока 300 МВт;
- вспомогательного оборудования турбины блока 300 МВт;
- котла ТПП-210А энергоблока 250 МВт;
- газотурбинной установки ГТЭ-110 энергоблока ПГУ 325 МВт;

## ГЛАВА 21. ПОЛИГОННЫЕ АСУТП ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

– молотковой мельницы ММТ-2000/2590-730К и других фрагментов энергоблоков.

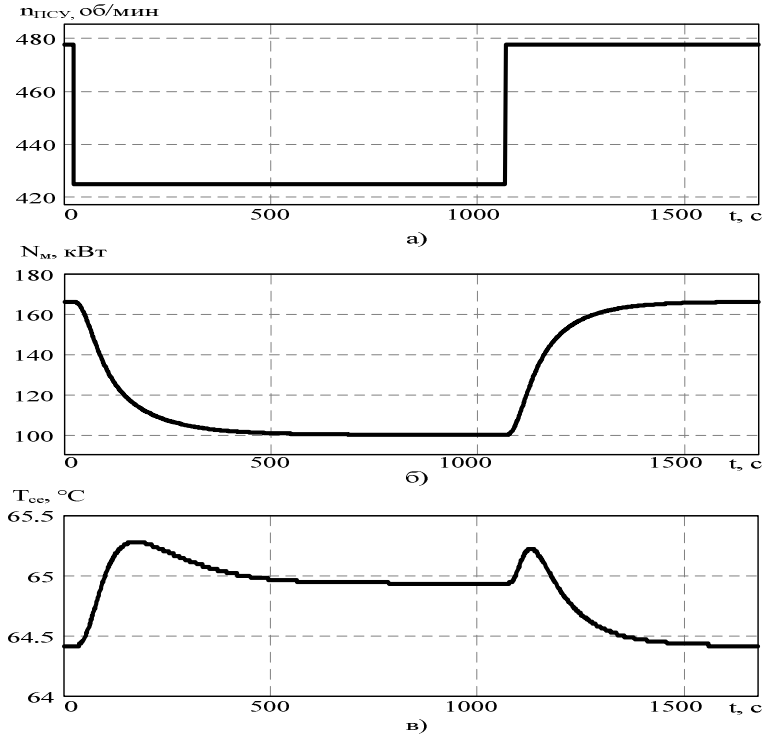


Рис. 21.3.12. Результаты экспериментов при нанесении ступенчатого возмущения оборотами питателя сырого угля:

- а – изменение оборотов ПСУ;
- б – кривые разгона мощности электродвигателя мельницы;
- в – кривые разгона температуры аэросмеси за сепаратором

## ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

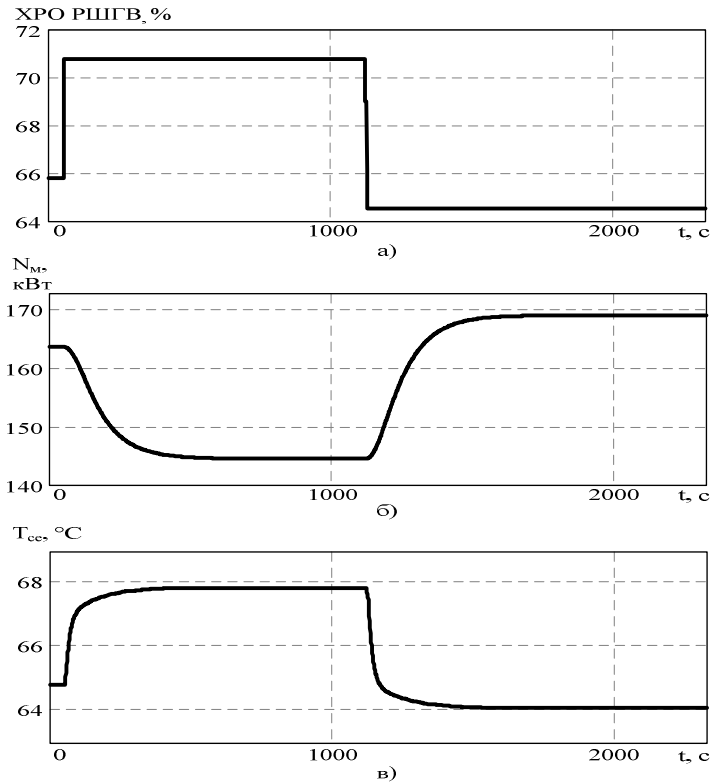


Рис. 21.3.13. Результаты экспериментов при нанесении ступенчатого возмущения положением регулирующего шибера горячего воздуха:

- а – изменение положения РШГВ;
- б – кривые разгона мощности электродвигателя мельницы;
- в – кривые разгона температуры аэросмеси за сепаратором

## ГЛАВА 21. ПОЛИГОННЫЕ АСУТП ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

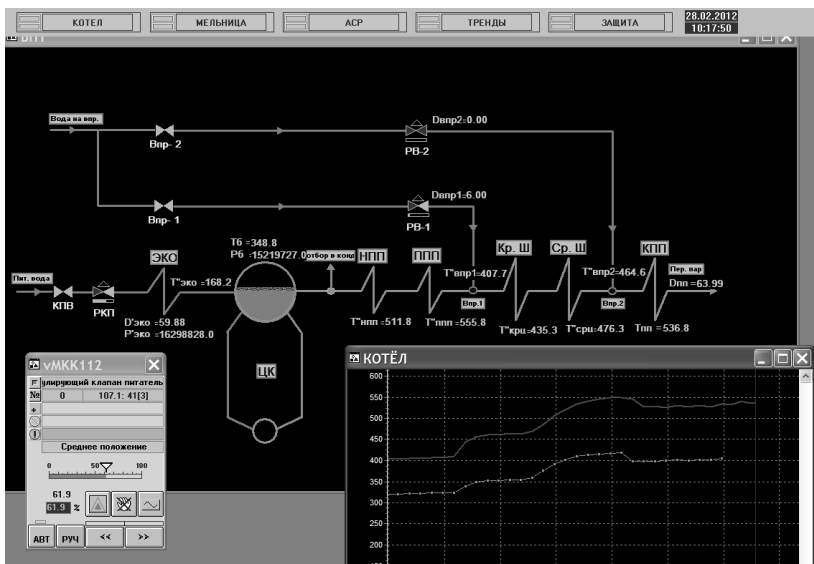


Рис. 21.3.14. Мнемосхема водопарового тракта котла ТПЕ-208 энергоблока 200 МВт

### 21.3.5. Разработка подсистемы генерации случайных эксплуатационных возмущений (этап № 5 методики)

Для подсистемы генерации случайных процессов возмущений была осуществлена программная реализация на языке С# трех алгоритмов, подробно рассмотренных в отдельной книге<sup>13</sup>. Программный код внедрялся в алгоблок «Формула» расчетной станции «Мезон» ПТК «Квинт СИ»<sup>14</sup> (рис. 21.3.15 – 21.3.17).

<sup>13</sup> Тверской Ю.С., Никоноров А.Н., Пронин Д.А. Прикладное обеспечение полигонов АСУТП электростанций / Под ред. Ю.С. Тверского / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина»; – Иваново, 2012. – 174 с.

<sup>14</sup> Квинт СИ. Программно-технический комплекс для автоматизации производственных процессов. Краткие сведения. – М., 2006.

ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

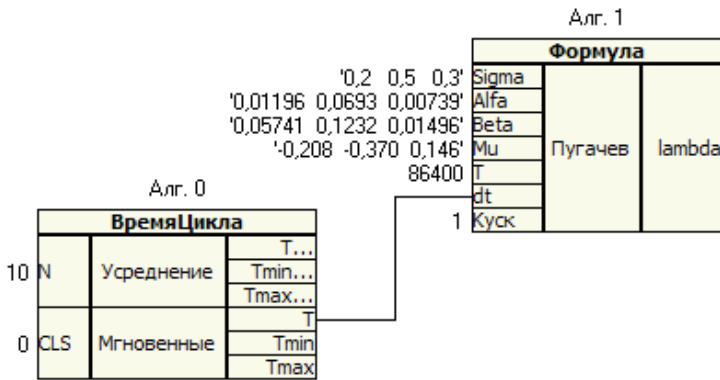


Рис. 21.3.15. Внешний вид алглобка генерации случайного процесса методом канонического разложения Пугачева

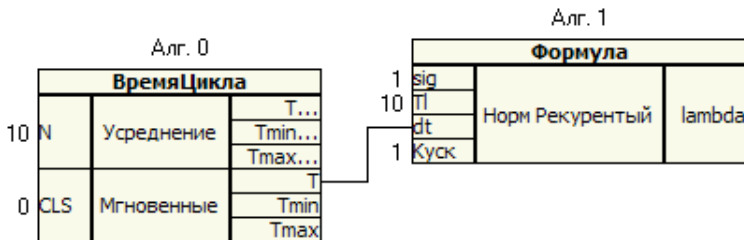


Рис. 21.3.16. Внешний вид алглобка генерации случайного процесса по рекуррентному алгоритму

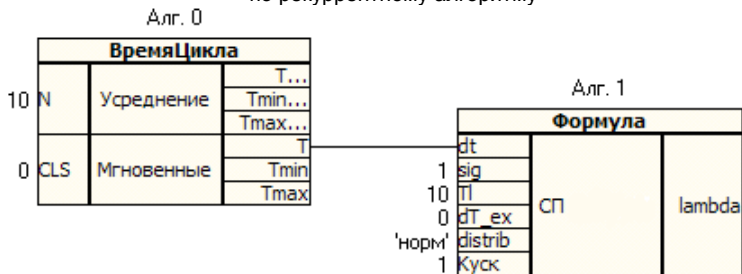


Рис. 21.3.17. Внешний вид алглобка генерации случайного процесса по интерполяционному алгоритму

## ГЛАВА 21. ПОЛИГОННЫЕ АСУТП ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

В качестве модели спектральной плотности в алгоритме Пугачева использовалась модель<sup>15</sup>:

$$S(\omega) = \frac{2}{\pi} \cdot \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 \cdot \frac{\alpha_i (\alpha_i^2 + \beta_i^2 + \omega^2) + \mu_i \beta_i (\alpha_i^2 + \beta_i^2 - \omega^2)}{(\alpha_i^2 + \beta_i^2 + \omega^2) - 4\beta_i^2 \omega^2}, \quad (21.3.9)$$

где  $\sigma$  – СКО элемента ряда;  $\alpha, \beta, \mu$  – коэффициенты модели.

Входными параметрами алгоблока являются наборы параметров модели: СКО,  $\alpha, \beta, \mu$ ; время реализации  $T, c$ ; шаг расчета  $dt$ , мкс; коэффициент ускорения модели  $K_{уск}$ . Наборы параметров имеют формат строки. Значения параметров отделяются друг от друга пробелами. Время шага расчета можно получить со специального блока «Время Цикла», который входит в состав библиотеки алгоблоков расчетной станции «Мезон».

Исходными данными для рекуррентного алгоритма являются параметры модели  $T_\lambda$  и  $\sigma = \sqrt{D_\lambda}$ , шаг расчета  $dt$  и коэффициент ускорения модели  $K_{уск}$ .

Исходными данными для интерполяционного алгоритма являются параметры модели  $T_\lambda$  и  $\sigma = \sqrt{D_\lambda}$ , шаг расчета  $dt$ , смещение относительно экстремумов  $\Delta T_{ex}$ , закон распределения, коэффициент ускорения модели  $K_{уск}$ .

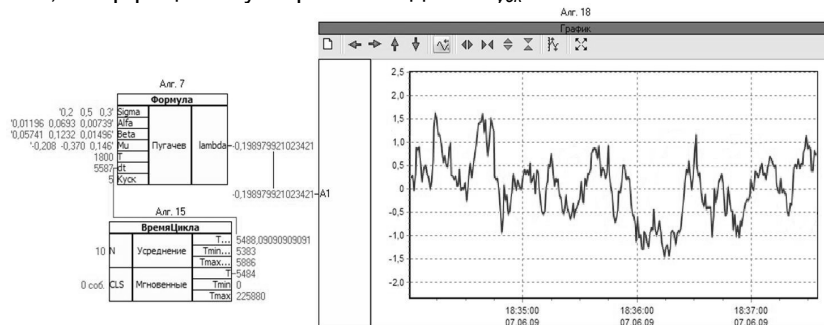


Рис. 21.3.18. Испытание генератора случайного процесса по алгоритму Пугачева в расчетной станции «Мезон»

<sup>15</sup> Тверской Ю.С. Автоматизация котлов с пылесистемами прямого вдувания. – М.: Энергоатомиздат, 1996. – 256 с.



## ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

В расчетной станции «Мезон» проведены испытания рассмотренных алгоритмов. Полученные результаты приведены на рис. 21.3.18 – 21.3.20.

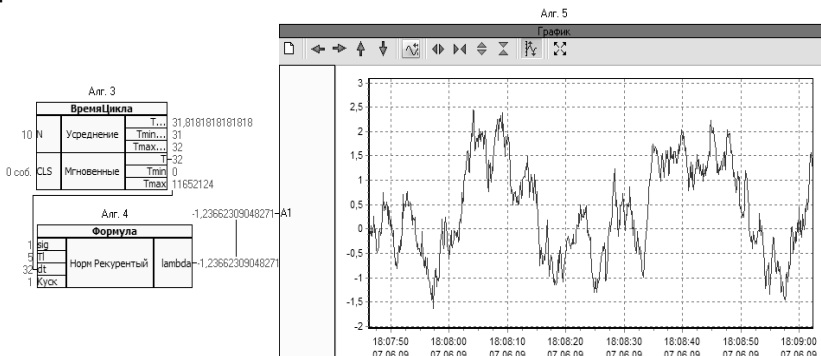


Рис. 21.3.19. Испытание генератора случайного процесса по рекуррентному алгоритму в расчетной станции «Мезон»

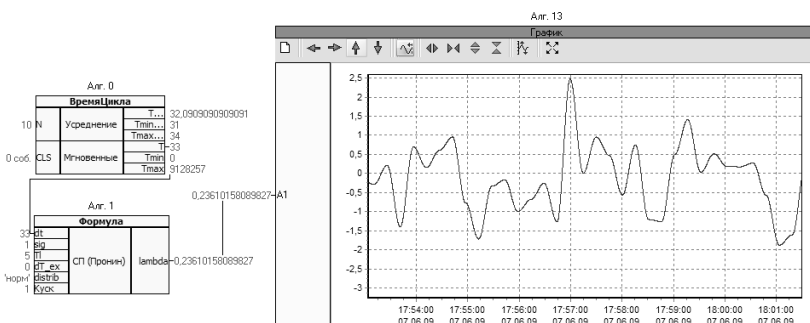


Рис. 21.3.20. Испытание генератора случайного процесса по интерполяционному алгоритму в расчетной станции «Мезон»

Испытания функционирования модели объекта управления при действии на него случайных возмущений проводились путем наблюдения за температурой пара за котлом при изменении расхода питательной воды (рис. 21.3.21).

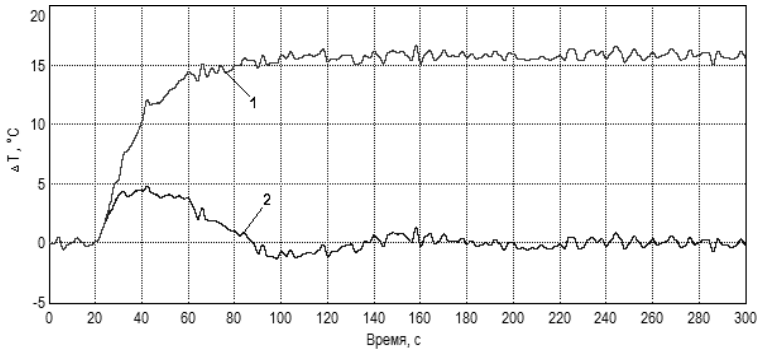


Рис. 21.3.21. Иллюстрация процесса изменения температуры пара за котлом, искаженного случайными возмущениями:  
1 – в разомкнутом контуре;  
2 – в типовой одноконтурной схеме регулирования

Разработанные многофункциональные полигонные АСУТП энергетических объектов служат базовой основой для использования учебно-исследовательской лаборатории «Полигон АСУТП электростанций» в качестве учебно-экспериментальной базы для обучения студентов.

В целом Полигон поддерживает учебный процесс по направлениям «Автоматизация и управление» и «Управление в технических системах» в полном объеме дисциплин, включая проведение лабораторных практикумов по курсам: «Технические средства автоматизации и управления», «Программно-технические комплексы», «Локальные системы управления», «Информационное обеспечение систем управления», «Теория и технология создания многофункциональных АСУТП электростанций», а также для подготовки (переподготовки) персонала электростанций, наладочных и проектных организаций по освоению новой технологии создания и эксплуатации АСУТП на базе ПТК сетевой иерархической структуры.

## **21.4. О состоянии разработки учебно-тренажерного центра автоматизированных парогазовых установок тепловых электростанций (УТЦ ПГУ ТЭС)**

### **21.4.1. К вопросу обоснования необходимости создания УТЦ ПГУ ТЭС в составе второго пускового комплекса Филиала «Ивановские ПГУ» ОАО «ИНТЕР РАО - Электрогенерация»<sup>16</sup>**

В целях обеспечения надежной и безопасной работы сложных технических объектов в продвинутых технических отраслях отработана технология непрерывной подготовки персонала **в специализированных** учебно-тренажерных центрах, например, в авиации, космонавтике, на всех атомных электростанциях.

Однако в тепловой энергетике, которая на 70% обеспечивает потребности страны в электрической и тепловой энергии, специализированный учебно-тренажерный центр подготовки персонала для ТЭС с ПГУ до сих пор отсутствует. Имеющиеся при некоторых передовых электростанциях локальные компьютерные тренажеры используются, как правило, эпизодически и проблемы непрерывной подготовки персонала не решают.

Выше отмечалось, что строительство специализированного учебно-тренажерного центра для электростанций на базе новых парогазовых технологий было предусмотрено технико-экономическим обоснованием (ТЭО<sup>17</sup>) реконструкции Ивановской ГРЭС (ныне филиал «Ивановские ПГУ» ОАО «ИНТЕР РАО - Электрогенерация»).

Ключевым аспектом в принятии этого стратегического инновационного решения была территориальная близость площадки «Ивановские ПГУ» к Ивановскому государственному энергетическому университету (ИГЭУ) как ведущему энергетическому университету, обеспечивающему подготовку конкурентоспособных высокопрофессиональных кадров для энергетического комплекса страны.

---

<sup>16</sup> Колсов А.Я., Ю.С. Тверской, М.А. Алексеев.

<sup>17</sup> Приказ № 385 от 28.07.2003 г. ОАО «РАО ЕЭС России».

Руководством ОАО «РАО «ЕЭС России» (г-н А.Б. Чубайс) и затем ОАО «ИНТЕР РАО ЕЭС» (г-н Е.В. Дод) неоднократно принимались решения и указания о строительстве УТЦ ПГУ ТЭС на базе ИГЭУ с использованием его инфраструктуры и кадрового потенциала.

В настоящее время строительство УТЦ ПГУ ТЭС включено в Техническое задание на пусковой комплекс №2 филиала «Ивановские ПГУ» (п. 5.2.61). Техническое задание на разработку проекта УТЦ ПГУ ТЭС утвердил Председатель Правления ОАО «ИНТЕР РАО ЕЭС» Е.В. Дод в 2008 году.

Сводным сметным расчетом данные затраты также были в свое время учтены (протокол №12 совещания у Председателя Правления ОАО РАО «ЕЭС России» от 13.02.2007).

При этом создание учебно-тренажерного центра (УТЦ ПГУ ТЭС) обосновывается в основном двумя позициями:

а) необходимостью ведения подготовки и переподготовки персонала энергоблоков ПГУ в соответствии с ПТЭ и Правилами работы с персоналом в организациях энергетики РФ;

б) требованием системной подготовки оперативного и ремонтного персонала новых энергоблоков ПГУ в целях снижения аварийности в ходе их освоения и последующей штатной эксплуатации.

Для энергоблоков ПГУ переподготовка персонала является особо актуальной по причине технологической специфики блоков ПГУ (дубль-блоки с 3-мя генераторами, высокая маневренность оборудования, оснащенность современными АСУТП и др.). Эта специфика требует особой подготовки оперативного и ремонтного персонала, в том числе имеющего опыт работы на традиционных газомазутных энергоблоках.

Необходимость подготовки персонала энергоблоков с использованием современных тренажерных комплексов подтверждена известным опытом освоения энергоблоков ПГУ:

– головной энергоблок ПГУ-450, ст.№1 Северо-Западной ТЭЦ – тренажеры не поставлялись и освоение энергоблока сопровождалось большими издержками;

– энергоблок ПГУ-450, ст.№1 Калининградской ТЭЦ-2 – тренажер был поставлен на БЦУ до начала пусконаладочных

работ, что способствовало существенному снижению издержек при освоении энергоблока.

Вместе с этим, подготовка и переподготовка профессиональных кадров (как лицензируемая образовательная деятельность) не могут проводиться в условиях действующих электростанций на регулярной основе. Как следствие, отдельные тренажеры используются на электростанциях эпизодически и в дальнейшем по мере освоения энергоблоков не совершенствуются. При этом необходимое учебно-методическое обеспечение, как правило, отсутствует.

***Кардинальное решение проблемы подготовки и переподготовки высококвалифицированных кадров – создание специализированного учебно-тренажерного центра в целях обеспечения системной подготовки кадров с привлечением квалифицированного преподавательского состава энергетических университетов.***

Территориальная близость филиала «Ивановские ПГУ» к базовому энергетическому университету страны ИГЭУ дает возможность для ОАО «ИНТЕР РАО ЕЭС» и энергетической отрасли в целом более широко и целенаправленно использовать потенциал и инфраструктуру энергетического университета.

Для головных отечественных энергоблоков ПГУ-325 изначально в ТЭО было предусмотрено строительство специализированного учебно-тренажерного центра. Однако впоследствии в ходе конкурсных мероприятий создание УТЦ по ряду причин было перенесено на второй пусковой комплекс. Как следствие, в настоящее время обучение персонала фактически ведется в условиях работающего оборудования в ходе его освоения с соответствующими издержками и повышенными рисками.

УТЦ ПГУ ТЭС в качестве подразделения филиала «Ивановские ПГУ» мог бы базироваться в стенах ИГЭУ, например, по договору долгосрочной аренды.

Расходная часть внутреннего бюджета УТЦ ПГУ ТЭС будет, по-видимому, определяться двумя составляющими:

– заработной платы, расходами на поддержание и развитие инфраструктуры УТЦ (полагая, что УТЦ ПГУ ТЭС в период строительства будет являться штатным подразделением в составе Филиала «Ивановские ПГУ»);

- арендной платой, согласно договору с ИГЭУ.

Подготовка специалистов включает в себя:

- подготовку оперативного персонала (вахты) в штатном плановом режиме (например, одна вахта в течение месяца две смены работает на штатном тренажере и других средствах УТЦ ПГУ ТЭС) для поддержания навыков управления и эксплуатации оборудования в штатных и аварийных режимах работы (включая противоаварийные тренировки);

- подготовку оперативного, ремонтного и инженерно-технического персонала по планам Филиалов для приобретения навыков управления и эксплуатации оборудования путем прохождения краткосрочных курсов (24 часа) или двухнедельных курсов (72 часа), включая начальную подготовку.

Ожидаемый эффект подготовки персонала – снижение аварийности при эксплуатации оборудования, обеспечение стабильных технико-экономических показателей сколь угодно длительное время, повышение культуры производства.

В рамках деятельности УТЦ в целях обеспечения его рентабельности могут осуществляться подготовка и переподготовка специалистов многих электростанций и организаций (ОГК и ТГК, проектных и наладочных организаций) на коммерческой основе, которая включает в себя подготовку оперативного, ремонтного и инженерно-технического персонала по договорам со сторонними организациями для изучения технологии работы автоматизированных энергоблоков ПГУ, приобретения навыков управления и эксплуатации оборудования путем прохождения двухнедельных курсов (72 часа) или четырехнедельных курсов (144 часа).

Другие положительные составляющие деятельности УТЦ ПГУ ТЭС:

- предоставление на коммерческой основе ресурсов УТЦ для подготовки студентов энергетических специальностей ИГЭУ при изучении общепрофессиональных и специальных дисциплин (возможно в качестве компенсации арендной платы в рамках договора с ИГЭУ);

- профессиональная ориентация будущих выпускников ИГЭУ для работы на электростанциях ОАО «ИНТЕР РАО - Электрогенерация» и возможность привлечения лучших выпускников;

## ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

---

– использование ресурсов УТЦ ПГУ ТЭС для выполнения научно-исследовательских работ по совершенствованию режимов работы и сложных алгоритмов управления автоматизированных энергоблоков ПГУ электростанций ОАО «ИНТЕР РАО ИНТЕР РАО - Электрогенерация», экспертиза и предварительная приемка в наладку сложных алгоритмов и др.;

– предоставление для инженерно-технического персонала филиалов электростанций ОАО «ИНТЕР РАО ИНТЕР РАО - Электрогенерация» возможности получения второго высшего технического образования по направлениям деятельности основных цехов (КТЦ, ЭЦ, ТАИ, ХЦ), а также повышение квалификации в аспирантуре и докторантуре ИГЭУ.

К настоящему времени выполнены все мероприятия, необходимые для развертывания работ по созданию УТЦ ПГУ ТЭС:

1) разработан проект концепции тренажерного комплекса ПГУ-325 (по заказу Департамента НТП и Р РАО «ЕЭС России»);

2) разработан соответствующий бизнес-план (инвестиции в создание УТЦ ПГУ ТЭС окупаются в течение 5 лет);

3) утверждено техническое задание на разработку проекта УТЦ ПГУ ТЭС;

4) разработаны технические требования к ТКП и поставке тренажерных систем для УТЦ ПГУ ТЭС;

5) получены технико-коммерческие предложения на выполнение работ и поставок для УТЦ ПГУ ТЭС от ведущих организаций в области мирового тренажеростроения;

6) разработан предварительный перечень работ по проектированию<sup>18</sup> УТЦ ПГУ ТЭС.

Несмотря на то, что много времени упущено, актуальность проблемы строительства полнофункционального УТЦ ПГУ ТЭС направленное на освоение современных энергосберегающих газотурбинных технологий в различных циклах, безусловно, сохраняется.

---

<sup>18</sup> Совместно с головной проектной организацией.

## ГЛАВА 21. ПОЛИГОННЫЕ АСУТП ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

### 21.4.2. Техническое задание на разработку проекта УТЦ ПГУ ТЭС

Таблица 21.4.1

№ п.п.	Перечень основных требований	Содержание требований
1	2	3
1	Основание для проектирования	1. Приказ РАО «ЕЭС России» от 28.07.03 № 385 «Об утверждении ТЭО реконструкции Ивановской ГРЭС с установкой двух ПГУ-325». 2. Решение совещания у Председателя Правления ОАО РАО «ЕЭС России» по созданию Учебно-тренажерного центра на базе Ивановского государственного энергетического университета (протокол №12 от 13.02.07). 3. Решение совещания при С.Н.Толстогузове от 12.04.07, протокол № 6.
2	Вид строительства	Перепланировка, косметический ремонт аудиторий учебного корпуса «Б» ИГЭУ для размещения УТЦ ПГУ ТЭС
3	Стадийность проектирования	1. Утверждаемая часть. 2. Рабочий проект (рабочая документация).
4	Требования по вариантной и конкурсной разработке	Не требуется
5	Особые условия строительства	1. УТЦ размещается в арендованных помещениях учебного корпуса «Б» ИГЭУ. 2. УТЦ предусматривает класс удаленного доступа на территории ОАО «Ивановские ПГУ». 3. Схема тренажерного комплекса. Приложение 1 к ТЗ.
6	Требования к качеству конкурентно-способности и экологическим параметрам продукции	Учебно-тренажерный комплекс должен: <ul style="list-style-type: none"> <li>– быть конкурентоспособным;</li> <li>– иметь патентную защиту;</li> <li>– обеспечить возможность бригадного тренинга (обучение вахты) персонала основным технологическим операциям;</li> <li>– оснащен программно-техническим комплексом (ПТК) с вертикальной и горизонтальной сетевой иерархической структурой, имеющим в своем составе виртуальную систему управления с возможностью ее изменения;</li> <li>– оснащен адекватной компьютерной (имитационной) моделью технологического процесса с возможностью ее изменения;</li> <li>– оснащен типовым полевым оборудованием АСУТП энергоблока ПГУ;</li> <li>– иметь возможность перспективного расширения с применением новейших ПТК и технических средств автоматизации (ТСА);</li> <li>– оснащен техническими средствами обучения (видео-, аудио-, компьютерными системами);</li> <li>– оснащен учебно-методическими материалами и автоматизированными системами проверки знаний.</li> </ul>



## ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

Продолжение табл. 21.4.1

1	2	3
7	Требования к объёму работ	<p>1. Разработать проект перепланировки и косметического ремонта аудиторий учебного корпуса «Б».</p> <p>1.1. Выполнить проект строительной части учебного корп. «Б», включая:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– устройство входа в корпус со стороны двора ИГЭУ;</li> <li>– устройство необходимых служебных помещений;</li> <li>– устройство помещений пилотного, штатного и локальных тренажерных комплексов, классы для работы с учебно-методическими и нормативно-техническими материалами и документами.</li> </ul> <p>1.2. Выполнить проект освещения.</p> <p>1.3. Выполнить проект пожарной сигнализации.</p> <p>1.4. Выполнить проект системы охранной сигнализации и видеонаблюдения.</p> <p>1.5. Выполнить проект системы связи (городской, междугородней) УТЦ с классом удаленного доступа на территории ОАО «Ивановские ПГУ».</p> <p>2. Разработать проект функционально-технической части учебно-тренажерного центра.</p> <p>2.1. Выполнить проект учебно-тренажерного центра в составе:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– пилотного полнофункционального тренажерного комплекса;</li> <li>– штатного полнофункционального тренажерного комплекса;</li> <li>– локальных компьютерных тренажеров для получения специальных знаний.</li> </ul> <p>2.2. Устройство пилотного и штатного учебно-тренажерных комплексов представляет собой современную АСУТП, в составе которой:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– технологический процесс (ТП) энергоблока ПГУ замещен встроенной адекватной математической (компьютерной) моделью, включающей основное тепломеханическое и электротехническое оборудование, с возможностью расширения до модели электростанции с 2 блоками ПГУ (минимально необходимый состав моделируемого оборудования уточняется на этапе разработки ТЗ на подсистемы учебно-тренажерного комплекса);</li> <li>– операторский интерфейс и рабочие места оперативного персонала (верхний уровень) полностью соответствует интерфейсу блока ПГУ-325;</li> <li>– контроллерный уровень (нижний уровень) распределен между физической и виртуальной системами управления в заданном объеме;</li> <li>– полевая зона распределена между физическими типовыми исполнительными механизмами и их математическими моделями в заданном объеме;</li> <li>– общий информационный масштаб тренажерных комплексов определяется информационной мощностью АСУТП ПГУ-325, обслуживающей операторов БЦУ, и уточняется на этапе функционального и технического (рабочего) проектирования.</li> </ul>

## ГЛАВА 21. ПОЛИГОННЫЕ АСУТП ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Продолжение табл. 21.4.1

1	2	3
		<p>2.3. Объем проектных работ по пилотному и штатному учебно-тренажерным комплексам УТЦ включает:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– разработку ТЗ на функциональные подсистемы и учебно-тренажерный комплекс в целом;</li> <li>– проектирование размещения оборудования для тренажерного центра с привязкой к помещениям;</li> <li>– проектирование рабочих мест тренажера и их сопряжение с локальной вычислительной сетью (рабочие места обучаемых, инструктора, инженера по моделям и др.);</li> <li>– разработку математической и адекватной компьютерной (имитационной) модели технологического процесса, включая разработку исходных технологических, конструктивных и проч. данных, разработку системы взаимодействия модели с физическими, виртуальными контроллерами и с подсистемой инструктора;</li> <li>– разработку проекта подключения физических контроллеров, полевого оборудования и подсистемы модели;</li> <li>– разработку математического и программного обеспечения виртуальной подсистемы управления;</li> <li>– разработку проекта взаимодействия (цифровая связь) виртуальной подсистемы управления с подсистемой модели;</li> <li>– разработку математического и программного обеспечения АСУТП физической и виртуальной систем управления;</li> <li>– разработку проекта взаимодействия (цифровая связь) физической и виртуальной систем управления с верхним уровнем комплекса;</li> <li>– разработку подсистем архивирования, технологических расчетов, единого времени и др.</li> </ul> <p>2.4. Объем проектных работ по полемому оборудованию включает, в том числе:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– разработку проекта учебных стендов датчиков и КИП (измерение температуры с помощью термопреобразователей сопротивления и термоэлектрических преобразователей, измерение уровня, измерение расхода, измерение давления, аналитические приборы воды и газа) в минимально необходимом объеме;</li> <li>– разработку проекта стендов сборок для управления типовой запорно-регулирующей арматурой и механизмами, коммутационных аппаратов (исполнительные механизмы с приводами, отсечные клапаны, регулирующие клапаны, задвижки, краны, коммутационные аппараты электротехнического оборудования и проч.) в минимально необходимом объеме;</li> <li>– разработку схем подключения датчиков и управления исполнительными механизмами по физическим связям.</li> </ul> <p>2.5. Разработать проект локальных компьютерных тренажеров и проект их размещения.</p>

## ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРGETИКЕ

Окончание табл. 21.4.1<sup>19</sup>

1	2	3
		<p>2.6. Разработать проект тренажерного класса, размещаемого в инженерном корпусе ОАО «Ивановские ПГУ», с адекватной математической моделью и подсистемой удаленного доступа и обмена информацией с тренажерным комплексом УТЦ ПГУ ТЭС в ИГЭУ.</p> <p>2.7. Разработать проекты типовых решений по интеграции новейших разработок в состав учебно-тренажерного комплекса:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– схем подключения датчиков с выходным сигналом 4-20 мА и HARD-протоколом;</li> <li>– схем управления исполнительными механизмами по цифровым связям с установкой коммутирующего узла и модуля управления на «голове» привода;</li> <li>– схем управления коммутационными аппаратами электротехнического оборудованием по цифровым связям;</li> <li>– измерительных схем электротехнических параметров с применением измерительных центров (анализаторов) и по обмену сигналами с ПТК по цифровым связям;</li> <li>– схем подключения локальных микропроцессорных систем управления технологическим оборудованием по промышленным протоколам (Profibus, Fieldbus) и др.</li> </ul>
8	Требования и условия к разработке природоохранных мер и мероприятий	В соответствии с действующей НТД
9	Требования к режиму безопасности и гигиене труда	В соответствии с действующей НТД
10	Требования по выполнению опытно-конструкторских и научно-исследовательских работ	Рабочая документация по разработке тренажёра должна включать в себя спецификации для заказа оборудования, локальные сметы, строительные и электротехнические чертежи (установочные чертежи электрооборудования, ряды зажимов и монтажные схемы, чертежи кабельного хозяйства и проч.), отчет по патентно-информационным исследованиям (ПИИ)
11	Состав демонстрационных материалов	Не требуется

<sup>19</sup> Поскольку настоящее Техническое задание на разработку проекта учебно-тренажерного центра автоматизированных парогазовых установок тепловых электростанций (УТЦ ПГУ ТЭС) было согласовано ректором Ивановского государственного энергетического университета С.В. Тарарыкиным, директором ОАО «Инженерный центр ЕЭС» филиал «Институт Теплоэлектропроект» И.А. Михайловым, директором Филиала «Ивановские ПГУ» ОАО «ИНТЕР РАО ЕЭС» М.А. Алексеевым и утверждено Председателем Правления ОАО «ИНТЕР РАО ЕЭС» Е.В. Додом, оно приводится в оригинальной редакции.

ГЛАВА 21. ПОЛИГОННЫЕ АСУТП ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

**21.4.3. Перечень необходимых работ по проектированию УТЦ ПГУ ТЭС (1-я стадия: утверждаемая часть)**

Таблица 21.4.2

N эт.	Наименование работ	Исполполнитель работ	Стоимость работ, тыс.руб	Сроки выполнения		Форма отчетности	Примечание
				начало	окончание		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Подготовка исходных данных для проектирования						
1.1	<p>Анализ современного состояния в развитии тренажерных комплексов и опыта подготовки персонала энергоблоков ПГУ ТЭС (по материалам открытой печати, патентного поиска, веб-сайтов компаний):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– сбор информации, включая патентный поиск, по тренажерным комплексам и средствам подготовки персонала ТЭС;</li> <li>– анализ новых технических решений в области тренажеростроения ТЭС;</li> <li>– анализ опыта применения тренажерных комплексов и средств первичной подготовки при решении задач повышения квалификации персонала энергоблоков ТЭС, в т.ч. энергоблоков ПГУ</li> </ul>					Аналитический обзор	Определение современного уровня тренажеростроения для выполнения требований п.6 ТЗ на проект УТЦ ПГУ ТЭС
1.2	<p>Обследование фирм-поставщиков тренажерных комплексов ПГУ ТЭС:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– разработка методики обследования и подготовительные работы;</li> <li>– анализ технического уровня инструментальных средств разработки тренажерных комплексов;</li> <li>– анализ технологии создания тренажерных комплексов;</li> <li>– анализ опыта подготовки персонала энергоблоков ПГУ с использованием тренажерных комплексов;</li> <li>– подготовка технического отчета по результатам обследования</li> </ul>					Технический отчет	В соответствии с программой обследования потенциальных фирм-разработчиков (ЗАО "Интеравтоматика"; ЗАО "Тренажеры для электростанций"; НПО "САТУРН"; ИГЭУ и др.) и электростанций (Калининградская ТЭЦ-2; Северо-Западная ТЭЦ; Сочинская ТЭС; ТЭЦ-26, ТЭЦ-27 "Мосэнерго"; УТЦ Калининской АЭС и др.)

## ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРGETИКЕ

Продолжение табл. 21.4.2

1	2	3	4	5	6	7	8
1.3	<p>Определение (уточнение) состава "проектов" (тренажерных комплексов и средств первичной подготовки), реализуемых в составе функционально-технической части УТЦ:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– формирование структуры функционально-технической части УТЦ;</li> <li>– формирование технической структуры штатного и пилотного тренажерных комплексов энергоблока ПГУ-325;</li> <li>– формирование структуры класса локальных тренажеров (тренажер ГТЭ-110, тренажер ВПУ и др.);</li> <li>– формирование структуры класса удаленного доступа;</li> <li>– формирование состава средств первичной подготовки персонала;</li> <li>– определение технологии выполнения работ по реализации функционально-технической части УТЦ</li> </ul>					Концепция функционально-технической структуры УТЦ	Определение технического облика функционально-технической части УТЦ в соответствии с требованиями п.6 ТЗ на проект УТЦ ПГУ ТЭС и возможностями потенциальных поставщиков
1.4	<p>Разработка технической части документации для проведения конкурсных мероприятий по выбору организаций-поставщиков тренажерных комплексов и средств первичной подготовки персонала, в т.ч. пилотный полнофункциональный тренажерный комплекс; штатный полнофункциональный тренажерный комплекс; локальные компьютерные тренажеры и др.</p>					Технические требования к компонентам УТЦ (техническая часть документации для проведения конкурсных мероприятий по выбору организаций по проектированию и поставке тренажерных комплексов для УТЦ ПГУ ТЭС, в т.ч. по объемам поставки и границам ответственности организаций-поставщиков)	Подготовка к выбору организаций по проектированию и поставке компонентов функционально-технической части согласно п.7, п.п.2 ТЗ на проект УТЦ ПГУ ТЭС

## ГЛАВА 21. ПОЛИГОННЫЕ АСУТП ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Продолжение табл. 21.4.2

1	2	3	4	5	6	7	8
2.	Разработка документации утверждаемой части проекта УТЦ ПГУ ТЭС						
2.1	<p>Разработка документации утверждаемой части проекта УТЦ, в том числе:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– баз данных контролируемых параметров и управляемых исполнительных устройств моделей технологического оборудования в составе тренажерных комплексов (технологические границы моделей объектов управления в составе тренажерных комплексов);</li> <li>– объема реализации в тренажерных комплексах функциональных задач АСУТП в т.ч. технологических защит, блокировок, ФГУ, сигнализации, автоматических регуляторов и программ логического управления (объем моделей АСУТП);</li> <li>– схем структурных комплексов технических средств (КТС) тренажеров;</li> <li>– схем структурных цифрового обмена по отдельным тренажерным комплексам и УТЦ в целом;</li> <li>– планов размещения оборудования;</li> <li>– пояснительной записки к утверждаемой части проекта и др.</li> </ul>					Документация утверждаемой части проекта	

## ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

Окончание табл. 21.4.2<sup>20</sup>

1	2	3	4	5	6	7	8
2.2	<p>Подготовка и согласование технических заданий (технической части контрактов) на разработку и поставку комплектующих изделий функционально-технической части УТЦ ПГУ ТЭС:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– ТЗ на компоненты пилотного тренажерного комплекса;</li> <li>– ТЗ на компоненты штатного тренажерного комплекса;</li> <li>– ТЗ на локальные тренажеры;</li> <li>– ТЗ на программно-технические средства новых разработок;</li> <li>– ТЗ на программные средства первичной подготовки персонала;</li> <li>– ТЗ на программно-технические средства удаленного доступа;</li> <li>– ТЗ на поставку системного и инструментального ПО;</li> <li>– ТЗ на учебно-методическое обеспечение и др.</li> </ul>					<p>Техническая часть договоров (контрактов) на поставку комплектующих изделий</p>	<p>С привлечением на субподряд организаций-поставщиков компонентов УТЦ</p>

<sup>20</sup> Перечень необходимых работ разработан при участии ООО «Научно-производственное предприятие «ИНОТЭК»».

## ГЛАВА 21. ПОЛИГОННЫЕ АСУТП ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

### 21.4.4. Перечень мероприятий по разворачиванию УТЦ (начальная стадия работ)

Таблица 21.4.3

№ п/п	Основание для выполнения мероприятия	Наименование мероприятия	Результаты выполнения	Примечание
<b>1. Общие вопросы</b>				
1.1	ТЗ на пусковой комплекс блока № 2 п.5.2.61	Разворачивание подразделения УТЦ ПГУ в структуре филиала «Ивановские ПГУ»	1. Приказ по утверждению структуры УТЦ. 2. Прием на работу штатных сотрудников УТЦ. 3. Положение об УТЦ с указанием выполняемых функций и зон ответственности. 4. Должностные инструкции специалистов УТЦ	
1.2	ТЗ на пусковой комплекс блока № 2 п.5.2.61	Определение схемы финансирования и схемы договорных отношений с организациями-исполнителями	1. Схема финансирования работ. 2. Схема договорных отношений с назначением ответственных лиц Заказчика (руководителя УТЦ и его заместителей) и оформлением необходимых доверенностей	
<b>2. Работы по подготовке инфраструктуры УТЦ</b>				
2.1	ТЗ на разработку проекта УТЦ ПГУ ТЭС п.7. поз. 1	Подготовка к реконструкции аудиторий учебного корпуса ИГЭУ	1. Технические требования для разработки проекта строительной части перепланировки помещений УТЦ (проект системы отопления, вентиляции, кондиционирования, пожаротушения, системы охранной сигнализации, видеонаблюдения, телефонизации и др). 2. Предварительная проработка дизайна помещений пилотного, штатного и локальных тренажерных комплексов, классов для работы с учебно-методическими и нормативно-техническими материалами и документами, административных помещений УТЦ. 3. Определение организации по выполнению проекта строительной части (на конкурсной основе). 4. Заключение договоров и сопровождение работ по проектированию строительной части УТЦ	
2.2	ТЗ на разработку проекта УТЦ ПГУ ТЭС п.7	Разработка проекта ЛВС УТЦ	1. Схема локальной вычислительной сети. 2. Заказные спецификации на компоненты ЛВС, компьютеры и программное обеспечение руководителей и специалистов УТЦ	



## ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

Продолжение табл. 21.4.3

№ п/п	Основание для выполнения мероприятия	Наименование мероприятия	Результаты выполнения	Примечание
<b>3. Работы по подготовке к реализации функционально-технической части УТЦ</b>				
3.1	ТЗ на разработку проекта УТЦ ПГУ ТЭС п.7. поз. 2	Выбор организаций-соисполнителей и технический аудит фирм – разработчиков тренажерных комплексов ПГУ	<p>1. Оценка современного состояния развития тренажерных комплексов и опыта подготовки персонала энергоблоков ПГУ ТЭС, в том числе технического уровня инструментальных средств разработки тренажерных комплексов потенциальных поставщиков тренажеров для УТЦ.</p> <p>2. Определение (уточнение) состава тренажерных комплексов ("проектов"), реализуемых при создании УТЦ ПГУ ТЭС.</p> <p>3. Разработка технических требований на основные тренажерные комплексы УТЦ: пилотный полнофункциональный тренажерный комплекс; штатный полнофункциональный тренажерный комплекс; локальные компьютерные тренажеры (для проведения конкурсных мероприятий).</p> <p>4. Выбор (определение) состава организаций-поставщиков тренажерных комплексов для УТЦ ПГУ ТЭС, объемов поставки и границ ответственности (возможно, на конкурсной основе)</p>	
3.2	ТЗ на разработку проекта УТЦ ПГУ ТЭС п.6	Подготовка к созданию учебно-методического обеспечения	Разработка технических требований к рабочим программам обучения (тренажерной подготовки) для основных категорий обучаемых (оперативный персонал, ремонтный персонал и др.)	
3.3	ТЗ на разработку проекта УТЦ ПГУ ТЭС п.7. поз. 2	Разработка ТЗ на функциональные подсистемы и/или тренажерные комплексы в целом	Разработка технических заданий на тренажерные комплексы УТЦ: пилотный тренажерный комплекс; штатный тренажерный комплекс; локальные компьютерные тренажеры (в качестве технической части соответствующих контрактов)	
3.4	ТЗ на пусковой комплекс блока № 2 п.5.2.61., ТЗ на разработку проекта УТЦ ПГУ ТЭС	Разработка план-графика работ по созданию УТЦ	Сетевой план-график работ по созданию УТЦ с детальной разбивкой по этапам (срокам) и организациям-соисполнителям	

## ГЛАВА 21. ПОЛИГОННЫЕ АСУТП ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Окончание табл. 21.4.3<sup>21</sup>

№ п/п	Основание для выполнения мероприятия	Наименование мероприятия	Результаты выполнения	Примечание
4	Разработка проекта и рабочей документации			Выполняется по завершению начальной стадии работ
5	Выполнение строительных работ по УТЦ			
6	Разработка проекта тренажерного комплекса			
7	Разработка и поставка подсистем, включая программно-аппаратные средства полигона			
8	Монтаж и ПНР пилотной установки тренажерного комплекса			
9	Монтаж и ПНР полномасштабного полигона АСУТП энергоблока ПГУ-325			
10	Разработка учебно-методического обеспечения			

<sup>21</sup> Перечень мероприятий разработан при участии ООО «Научно-производственное предприятие «ИНОТЭКС» и ОАО «Ивэлектроналадка».

### 21.5. Краткое резюме<sup>22</sup>

1. Методика построения полигонных АСУТП включает в себя разработку концепции и требований к системе, разработку подсистемы модели объекта управления, разработку подсистемы генерации случайных эксплуатационных возмущений, разработку подсистемы управления, ввод в действие и проведение испытаний системы.

2. Результаты экспериментальных исследований показали, что точность модели, реализованной в расчетной станции «Мезон» ПТК «Квинт СИ», значительно выше, чем у аналогичной модели, созданной в системе технологического программирования «Пилон». Модель, реализованную в расчетной станции «Мезон» ПТК «Квинт СИ», можно считать практически адекватной такой же модели, выполненной в универсальной системе имитационного моделирования «VisSim».

3. Техническая и функциональная структура Полигона, его математическое и программное обеспечение позволили успешно применить предложенную методику для разработки полноценно функционирующей в режиме реального времени полигонной АСУТП пылеугольного барабанного котла и ряда других фрагментов энергоблоков.

4. Разработанное прикладное обеспечение многофункциональной учебно-исследовательской лаборатории «Полигон АСУТП электростанций» позволяет осуществлять отработку сложных функций и алгоритмов управления, а также проводить обучение специалистов, подготовку (переподготовку) персонала электростанций, наладочных и проектных организаций.

5. Приведенные техническое задание и перечни объемов работ и мероприятий начальных этапов технологии разработки УТЦ ПГУ ТЭС дают общее представление о необходимом объеме работ и мероприятий и могут быть полезными для энергетических объединений (ОГК, ТГК и др.), заказчиков и разработчиков тренажерных комплексов и центров.

---

<sup>22</sup> Ю.С. Тверской

## **ВЫВОДЫ по шестой части<sup>23</sup>**

### ***По общим методологическим проблемам***

1. Качественный скачок в управлении функционированием энергоблока как сложного объекта путем снижения влияния человеческого фактора в управлении и минимизации ошибок при принятии управленческих решений в режиме реального времени может быть обеспечен посредством адекватной профессиональной подготовки эксплуатационного персонала.

2. Адекватность подготовки может быть достигнута путем разработки концепции, реализующей апробированные методологические принципы обучения в режиме трудовой профессиональной деятельности, управления обучением в режиме реального времени, автоматизированного задания уровня сложности решаемой задачи, синхронизированной оценки качества подготовки обучаемого, что является ключевым в создании учебно-тренажерного комплекса.

### ***По созданию математической модели технологического объекта управления и классификации учебно-тренажерных комплексов***

3. В настоящее время, несмотря на достаточное число созданных тренажерных средств, классификация учебно-тренажерных средств подготовки специалистов, в том числе оперативного персонала ТЭС, отсутствует.

Математическая модель ТОО предопределяет возможности проектируемого учебно-тренажерного средства и может быть положена в основу будущей классификации тренажерных средств и их назначения.

Построение полноценной высокоточной всережимной динамической математической модели должно базироваться на законах сохранения неравновесной термодинамики (феномено-

---

<sup>23</sup> Ю.С. Тверской

логический подход) с использованием конструктивных исходных данных установки, а также учитывать характер реальных эксплуатационных возмущений.

4. Ключевыми элементами учебно-тренажерного комплекса являются математическая модель объекта управления (энергоблока, электростанции), средства устройств управления и полевой зоны, а также средства управления моделью ТООУ и контроллерной частью (подсистема инструктора).

Управляющая часть учебно-тренажерного комплекса должна быть идентичной реальной АСУТП, которая выполняет системообразующую функцию и формирует информационно-технологическую среду отображения процесса и управления процессом.

Полевая зона формируется средствами измерения и механизмами управления, которые существенны для представления информации и подачи управляющих воздействий и которые с течением времени могут менять свои характеристики.

### ***О создании учебно-тренажерных центров профессиональной подготовки специалистов***

5. Обращается внимание на недостаточную профессиональную подготовку специалистов заказчика в области многофункциональных АСУТП на базе ПТК и технологий разработки тренажерных средств. Это требует создания учебных центров подготовки специалистов, оснащенных соответствующими учебно-тренажерными комплексами с адекватным алгоритмическим и учебно-методическим обеспечением.

6. Эффективность дорогостоящего учебно-тренажерного комплекса и эффективность учебно-тренажерного центра в целом может быть обеспечена только путем его многоцелевой ориентации и интеграции с университетской системой подготовки специалистов.

7. Впервые разработана виртуально-техническая структура учебно-тренажерного комплекса, включающая группу рабочих станций оперативного персонала, группу рабочих станций неоперативного персонала, группу ЭВМ модели объекта управления, группу рабочих станций проектирования, группу рабочих

станций инструктора, группу физических контроллеров, группу виртуальных контроллеров, группу исполнительных устройств, группу адаптеров связи, группу ЭВМ связи и сетевые коммутаторы.

Техническая структура программно-технического средства доведена до уровня специализированного многоцелевого многофункционального учебно-тренажерного комплекса «Полигон АСУТП электростанций».

8. Полигон позволяет осуществлять как решение научно-исследовательских задач, нацеленных на повышение эффективности АСУТП, так и подготовку (переподготовку) специалистов, в том числе оперативного и неоперативного персонала электростанций.

Методология подготовки апробирована более чем десятилетним опытом штатной эксплуатации Полигона в учебном процессе вуза по multidisciplinary направлениям «Автоматизация и управление», «Управление в технических системах» (энергетика).

9. Приведенные техническое задание и перечни объемов работ и мероприятий начальных этапов головной разработки УТЦ ПГУ ТЭС могут быть полезными для заказчиков и разработчиков тренажерных средств в качестве общего представления о необходимом объеме работ и мероприятий.

**Библиографический список к части шестой**

1. **Анализ** направлений развития отечественной теплоэнергетики / А.В. Мошкарин, М.А. Девочкин, Б.Л. Шелыгин, В.С. Рабенко; под ред. А.В.Мошкарина / Иван. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 2002. – 256 с.
2. **Аракелян, Э.К.** Оптимизация и оптимальное управление: учеб. пособие / Э.К. Аракелян, Г.А. Пикина; под ред. Т.Е.Щедеркиной. – М.: МЭИ, 2003. – 356 с.
3. **Голубев, А.В.** Исследование характеристик и совершенствование настройки каналов регулирования, реализуемых контроллерами в составе программно-технических комплексов АСУТП энергоблоков: дис. ...канд.техн.наук. 05.13.06; защищена 10.02.06; утв. 23.06.06 / Голубев Антон Владимирович. – Иваново, 2005. – 178 с.
4. **ГОСТ 26387-84.** Система человек-машина. Термины и определения. Государственный комитет СССР по стандартам. – М., 1984.
5. **ГОСТ 26691-85.** Теплоэнергетика. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1986.
6. **ГОСТ 28.195-89.** Оценка качества программных средств. Общие положения.
7. **ГОСТ 34.603-92.** Информационная технология. Виды испытаний автоматизированных систем.
8. **Гуров, К.П.** Феноменологическая термодинамика необратимых процессов. Физические основы / К.П. Гуров.–М.: Наука, 1978.–128 с.
9. **Дозорцев, В.М.** О проблеме адекватности тренажерных моделей технологических процессов / В.М. Дозорцев, Д.В. Кнеллер, М.Ю. Левит // Идентификация систем и задачи управления (SICPRO-2000): тр. междунар. науч. конф. – М.: ИГУ РАН, 2000. – С.51-61.
10. **Дьяконов, В.** VisSim+Mathcad+MATLAB. Визуальное математическое моделирование / В. Дьяконов. – М.: Солон-пресс, 2004. – 383 с.
11. **Ивановская** ГРЭС. ТЭО (проект). Корректировка «Технико-экономического обоснования реконструкции Ивановской ГРЭС с установкой 2 ПГУ-325». – М.: РАО «ЕЭС России», ОАО «Институт Теплоэлектропроект», 2003.
12. **Имитационная** модель пылесистем по схеме прямого вдувания паровых котлов (теоретические основы и технология реализации на полигоне АСУТП) / Ю.С. Тверской [и др.] // Теплоэнергетика. –2005. – №9. – С. 61-69.
13. **Имитационные** модели технологического оборудования в составе полигонных версий АСУТП тепловых электростанций (опыт реализации и перспективы промышленного применения) / Ю.С. Тверской [и др.] // Управление и информационные технологии

## ГЛАВА 21. ПОЛИГОННЫЕ АСУТП ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

(УИТ): сб. докл. Всерос. науч. конф., в 2-х томах; СПб.ГЭТУ. – СПб., 2003. – Т.2. – С.147-151.

14. **Информационная** технология. Комплекс стандартов и руководящих документов на автоматизированные системы. Комитет стандартизации и метрологии СССР по стандартам. – М.: Изд-во стандартов, 1991.

15. **К освоению** новой технологии построения АСУТП тепловых электростанций / Ю.С. Тверской [и др.] // Новое в российской электроэнергетике. – 2001. – №8. – С. 18-25.

16. **Касьянов, Л.Н.** Использование компьютерной модели энергоблока с ПГУ мощностью 490 МВт для исследования нестационарных процессов и оптимизации тепловой схемы блока / Л.Н. Касьянов, В.С. Поляков, А.С. Рубашкин // Электрические станции. – 1998. – №5. – С.15-20.

17. **Квинт СИ.** Программно-технический комплекс для автоматизации производственных процессов. Краткие сведения. – М., 2006.

18. **Магид, С.И.** Теория и практика тренажеростроения для тепловых электрических станций / С.И. Магид. – М.: МЭИ, 1998. – 154 с.

19. **Магид, С.И.** Надежность человеко-машинных систем в электроэнергетике и технические средства подготовки оперативного персонала электрических станций и сетей / С.И. Магид, В.И. Беляев // Энергосбережение и водоподготовка. – 2002. – №4. – С.57-65.

20. **Магид, С.И.** Новые тренажерные технологии управления энергообъектами в условиях дестабилизации / С.И. Магид, Л.П. Музыка, Е.Н. Архипова // Энергосбережение и водоподготовка. – 2004. – № 4.

21. **Математический** энциклопедический словарь / гл. ред. Ю.В. Прохоров. – М.: Советская энциклопедия, 1988.

22. **Мурадян, С.Г.** Тенденции создания систем обучения и тренировки операторов энергоблоков тепловых и атомных электростанций / С.Г. Мурадян, В.Д. Самойлов, Р.Д. Ципцюра // Электронное моделирование. – 1983. – №1. – С.46-52.

23. **Нелинейная** динамическая модель пылесистем прямого вдувания котлов электростанций / Д.Ю. Тверской [и др.] // Управление и информационные технологии (УИТ-2008): сб. докл. 5-й науч. конф., в 2-х томах; СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – СПб., 2008. – Т.2. – С. 100-102.

24. **Никонов, А.Н.** Особенности моделирования технологических объектов управления в расчетной станции «МЕЗОН» / А.Н. Никонов, Д.Л. Скворцов // Состояние и перспективы развития электротехнологии (XIV Бенардосовские чтения): тез. докл. междунар. науч.-техн. конф.; Федеральное агентство по образованию, ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И.Ленина». – Иваново, 2007. – Т.1. – С. 118.



## ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРGETИКЕ

---

25. **Никонов, А.Н.** О проблемах реализации имитационных моделей сложных технологических объектов в среде реального времени ПТК АСУТП электростанций / А.Н. Никонов, Ю.С. Тверской // Управление и информационные технологии (УИТ-2008): сб. докл. 5-й науч. конф., в 2-х томах; СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – СПб., 2008. – Т.1. – С.202-206.

26. **Нормативный** метод расчета динамических характеристик прямоточных котлов // Котельные и турбинные установки энергоблоков мощностью 500 и 800 МВт / под. ред. В.Е. Дорощука. – М.: Энергия, 1979. – С.561-569.

27. **О внедрении** компьютерной системы проверки знаний персонала на Костромской ГРЭС / В.С. Рабенко [и др.] // Энергетик. – 1999. – №10. – С.8.

28. **О формировании** технической политики электростанций по модернизации систем контроля и управления и созданию полнофункциональных АСУТП / В.К. Крайнов [и др.] // Электрические станции. – 2002. – №1. – С.10-13.

29. **Ольховский, Г.Г.** Газотурбинные и парогазовые установки в России / Г.Г. Ольховский // Теплоэнергетика. – 1999. – №1. – С. 2-9.

30. **Опыт** внедрения технологических функций АСУ ТП на энергоблоке ПГУ-450Т Северо-Западной ТЭЦ / В.С. Невзгодин, И.В. Аристархова, С.А. Мартюк, В.А. Биленко // Электрические станции. – 2003. – №4. – С.16-26.

31. **Опыт** создания теплофикационного парогазового энергоблока ПГУ-450Т Северо-Западной ТЭЦ / Р.И. Костюк, И.Н. Писковацков, А.Н. Блинов, В.И. Колесник // Теплоэнергетика. – 1999. – №1. – С.10-14.

32. **Основные** решения по построению АСУТП Северо-Западной ТЭЦ г. Санкт-Петербурга / Р.И. Костюк [и др.] // Электрические станции. – 2004. – №1. – С.71-75.

33. **Особенности** построения компьютерных тренажеров для комплексных тренировок вахты оперативного персонала тепловой электростанции / Э.К. Аракелян [и др.] // Теплоэнергетика. – 2000. – №1. – С.42-49.

34. **Оценка** качества ведения режима и действий оператора на компьютерном тренажере энергоблока / В.С. Рабенко [и др.] // Повышение эффективности теплоэнергетического оборудования: тр. ИГЭУ. – Иваново, 2000. – С.48.

35. **Педагогический** энциклопедический словарь / гл. ред. Б.М.Бим-Бад. – М.: Большая Российская энциклопедия, 2003. – 528 с.

36. **Першиков, В.И.** Толковый словарь по информатике / В.И. Першиков, В.М. Савинков. – М.: Финансы и статистика, 1991. – 543 с.

## ГЛАВА 21. ПОЛИГОННЫЕ АСУТП ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

37. **Полигон** АСУТП на базе современных программно-технических комплексов / Ю.С. Тверской [и др.] / Теория и практика имитационного моделирования и создания тренажеров: сб. материалов междунар. науч.-техн. конф. – Пенза: ПГУ, 2001. – С.51-54.

38. **Правила** технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации: / М-во топлива и энергетики РФ, РАО «ЕЭС России»: РД 34.20.501-95. – 15-е изд., перераб. и доп. – М.: СПО ОРГРЭС, 1996. – 288 с.

39. **Правила** технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации: СО 153-34.20.501-2003. – М.: СПО ОРГРЭС, 2003. – 320 с.

40. **Применение** «Комплекса компьютерных средств подготовки персонала цехов ТАИ ТЭС» в соревнованиях профессионального мастерства / В.В. Охотин [и др.] // Электрические станции. – 2001. – №2. – С.41-46.

41. **Разработка** и реализация моделей теплоэнергетических процессов для тренажеров учебно-тренировочного центра Мосэнерго / С.И. Магид [и др.] // Теплоэнергетика. – 1984. – №10. – С.55-59.

42. **Результаты** испытаний ГТЭ-110 на стенде Ивановской ГРЭС на жидком топливе / В.В. Романов [и др.] // Теплоэнергетика. – 2002. – №9. – С.36-39.

43. **РД 153-34.0-12.305-99.** Нормы годности программных средств подготовки персонала энергетики: утв. РАО «ЕЭС России» 02.06.99. – М.: РАО «ЕЭС России», 1999. – 36 с.

44. **РД 153-34.1-35.127-2002.** Общие технические требования к программно-техническим комплексам для АСУТП тепловых электростанций: утв. Департаментом научно-технической политики и развития РАО «ЕЭС России» 12.04.2002. – М.: СПО ОРГРЭС, 2002.– 147 с.

45. **Рубашкин, А.С.** Компьютерные тренажеры для операторов тепловых электростанций / А.С. Рубашкин // Теплоэнергетика. – 1995. – №10. – С.38-46.

46. **Рубашкин, А.С.** Методы моделирования технологических процессов, происходящих в энергетическом оборудовании / А.С. Рубашкин, В.Л. Вербицкий, В.А. Рубашкин // Теплоэнергетика. – 2003. – №8. – С.44-48.

47. **Рубашкин, А.С.** Моделирование процессов в составе тренажеров для операторов ТЭС / А.С. Рубашкин // Теория и практика построения и функционирования АСУ ТП: тр. междунар. науч. конф. Control-2000. – М.: Изд-во МЭИ, 2000.

48. **Rubashkin, A.** Simulation technologies for fossil Power used in Russia / A. Rubashkin, V. Rubashkin // Power Plant Simulation. Fossil and Nuclear Power Plant Simulation Presentation Proceedings 2001-2003. The

## ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

---

Society for Modeling and Simulation International. ISBN-56555-271-7, p.400-404.

49. **Рубашкин, А.С.** Развитие технологии моделирования динамических процессов на тепловых электростанциях / А.С. Рубашкин, В.А. Рубашкин // Теплоэнергетика. – 2004. – №10.

50. **Серов, Е.П.** Динамика парогенераторов / Е.П. Серов, Б.П. Корольков. – М.: Энергоиздат, 1981.

51. **СО 34.35.143-00.** Объем и технические условия на выполнение технологических защит теплоэнергетического оборудования газотурбинных установок ТЭЦ; утв. Департаментом стратегии развития и научно-технической политики РАО «ЕЭС России» 10.07.00; разработ. АО «Фирма ОРГРЭС»; ввод в действ. с 2001-10-01.– М.: СПО ОРГРЭС, 2001.– 21 с.

52. **СО 34.35.104-2001.** Методические указания по объему технологических измерений, сигнализации, автоматического регулирования на тепловых электростанциях с ПГУ, оснащенных АСУТП. – М.: СПО ОРГРЭС, 2002. – 61с.

53. **СО 153-34.12.303.** Основные технические требования к комплексным тренажерам для подготовки эксплуатационного персонала энергоблоков тепловых электростанций: утв. Минэнерго СССР 17.06.86; разработ. ПО «Союзтехэнерго», ГИВЦ Минэнерго УССР, ЦДУ ЕЭС СССР, НПО «Промавтоматика»; срок действ. установлен с 31.12.89. – М.: СПО Союзтехэнерго, 1988. – 20 с.

54. **СО 153-34.12.203.** Перечень тем противоаварийных тренировок оперативного персонала ТЭС: утв. Гос. инспекцией по эксплуатации электростанций и сетей 10.10.86; разработ. Южтехэнерго. – М.: СПО Союзтехэнерго, 1987. – 56 с.

55. **СО 153-34.04.525.** Положение о центре тренажерной подготовки эксплуатационного персонала энергопредприятий // Положение о центре тренажерной подготовки эксплуатационного персонала энергопредприятий. Положение о пункте тренажерной подготовки эксплуатационного персонала энергопредприятий: утв. Минэнерго СССР 23.10.87; разработ. ПО «Союзтехэнерго», Южтехэнерго, Энергонот. – М.: СПО Союзтехэнерго, 1988.– С.4-16.

56. **СО 153-34.20.501-2003.** Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации: утв. Приказом Министерства энергетики Российской Федерации от 19июня 2003 г. №229. – М.: СПО ОРГРЭС, 2003. – 320 с.

57. **СО 34.30.106-00.** Правила технической эксплуатации газового хозяйства газотурбинных и парогазовых установок тепловых электростанций: утв. РАО «ЕЭС России» 28.04.00; разработ. РАО «ЕЭС России», Госгортехнадзор России, НТЦ «Промышленная безопасность»,

## ГЛАВА 21. ПОЛИГОННЫЕ АСУТП ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

АО «Теплоэлектропроект», АО «Фирма ОРГРЭС», АО «ВТИ»; срок действ. установлен с 01.03.2001. – М.: СПО ОРГРЭС, 2001. – 87 с.

58. **СО 34.12.102-94.** Правила организации работы с персоналом на предприятиях и в учреждениях энергетического производства: утв. РАО «ЕЭС России» 29.04.94; разработ. Департамент генеральной инспекции по экпл. электростанций и сетей, Севзапэнергонадзор, Центрэнергонадзор, Южэнергонадзор, Департамент эксплуатации энергосистем и электрических станций, Дирекция по работе с персоналом и подготовке кадров РАО «ЕЭС России». – М.: СПО ОРГРЭС, 1994. – 62 с.

59. **СО 153-34.12.201-88.** Правила проведения противоаварийных тренировок персонала электрических станций и сетей Минэнерго СССР: утв. Госинспекцией по эксплуатации электростанций и сетей 12.08.88; разработ. Южтехэнерго. – М.: СПО Союзтехэнерго, 1989. – 48 с. Изменение № 1 к РД 34.12.201-88. – М.: СПО Союзтехэнерго, 1990. – 1 с.

60. **СТУ 115.015-2003.** Прикладные программные средства тренажеров тепловых электрических станций и сетей. – М.: Министерство РФ по связи и информатизации, 2003.

61. **Таламанов, С.А.** Концепция построения станции контроля и качества автоматического регулирования и автоматизации настройки АСР в составе АСУТП тепловых электростанций / С.А. Таламанов // Управление и информационные технологии (УИТ-2006): сб. докл. на 4-й Всерос. науч. конф. – СПб., 2006. – С.196-201.

62. **Таламанов, С.А.** Совершенствование методологии автоматизации настройки систем регулирования в составе АСУТП тепловых электростанций: дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.06; защищена 27.10.06; утв. 16.02.07 / Таламанов Сергей Александрович. – Иваново, ИГЭУ. – 2006.

63. **Таламанов, С.А.** Разработка на стенде ПТК «Квинт» имитационной модели технологического оборудования в составе демонстрационной версии системы автоматизации котлоагрегата ТГМП-114 энергоблока 300 МВт / С.А. Таламанов, А.Н. Никоноров // Состояние и перспективы развития электротехнологии (IX Бенардосовские чтения): тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. – Иваново, 1999. – С.80.

64. **Тверской, Д.Ю.** Разработка и исследование динамических моделей пылесистем прямого вдувания для автоматизации тепловых электростанций: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06; защищена 09.10.09; утв. 12.03.10 / Тверской Дмитрий Юрьевич. – Иваново, 2009. – 184 с.

65. **Тверской, Д.Ю.** Фонд экспериментальных динамических характеристик паровых котлов тепловых электрических станций / Д.Ю. Тверской, И.Е. Харитонов, С.А. Таламанов, Ю.С. Тверской // Теплоэнергетика. – 2005. – №10. – С.32-35.

## ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

---

66. **Тверской, Ю.С.** Автоматизация котлов с пылесистемами прямого вдувания / Ю.С. Тверской. – М.: Энергоатомиздат, 1996. – 256 с.

67. **Тверской, Ю.С.** К вопросу об обучении в условиях автоматизации проектирования / Ю.С. Тверской // Автоматизация проектирования в энергетике и электротехнике: межвуз. сб. Вып.2; Иван. энерг. ин-т им. В.И.Ленина. – Иваново, 1979. – С.142-150.

68. **Тверской, Ю.С.** Локальные системы управления: учеб.-метод. пособие / Ю.С. Тверской; Министерство образования и науки Российской Федерации, ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново, 2011. – 128 с.

69. **Тверской, Ю.С.** Методы и алгоритмы расчета автоматических систем регулирования на ЭВМ: учеб. пособие / Ю.С. Тверской; Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР, Ивановский государственный университет им. Первого в России Иванова-Вознесенского общегородского Совета рабочих депутатов, Ивановский энергетический институт им. В.И. Ленина. – Иваново, 1978. – 90 с.

70. **Тверской, Ю.С.** Методы и алгоритмы машинного расчета автоматических систем регулирования тепловых процессов; учеб. пособие / Ю.С. Тверской; Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР, Ивановский государственный университет им. Первого в России Иванова-Вознесенского общегородского Совета рабочих депутатов, Ивановский энергетический институт им. В.И. Ленина. – Иваново, 1979. – 90 с

71. **Тверской, Ю.С.** Некоторые вопросы совершенствования учебного процесса на базе современных технических средств / Ю.С. Тверской // Технические средства в учебном процессе. Вып.4. – Ленинград, 1978. – С.13-17.

72. **Тверской, Ю.С.** О математической модели объекта в АСО на базе ЭВМ / Ю.С. Тверской, Ю.М. Агеев, П.А. Киселев // Тез. докл. итоговой науч.-техн. конф., ИЭИ. – Иваново, 1979. – С.68-69.

73. **Тверской, Ю.С.** Исследование и анализ факторов, влияющих на динамические свойства управляющих каналов контроллеров в составе ПТК / Ю.С. Тверской, А.В. Голубев // Автоматизация в промышленности. – 2003. – №5. – С.5-8.

74. **Тверской, Ю.С.** «Полигон АСУТП электростанций» – эффективное средство подготовки специалистов и тестирования сложных систем управления / Ю.С. Тверской, А.В. Голубев, А.Н. Никоноров // Теплоэнергетика. – 2011. – №10. – С. 70-75.

75. **Тверской, Ю.С.** Автоматизированная система обучения АСОЗ ЭВМ Мир-2 / Ю.С. Тверской, П.А. Киселев, Б.А. Баллод // Информ. листок № 117-82. – Иваново: ЦНТИ, 1982. – 2 с.

76. **Тверской, Ю.С.** Диалоговая система ТЕМП идентификации и параметрической оптимизации частотными методами промышленных систем автоматического управления (ДС ТЕМП, версия 2.1). Описание применения / Ю.С. Тверской, С.А. Таламанов; Программное средство. Рег. ном. 2068191.00260-01 Рег. ном. программного фонда ОФАП ГК Н и ВШ РСФСР 039.4000. 180. Рег. ном. ЦИФ ГосФАП СССР 50900000778. – Иваново, 1990. – 111 с.

77. **Тверской, Ю.С.** О новом классе АСУТП, оснащаемых математическими моделями управляемого технологического оборудования / Ю.С. Тверской, С.А. Таламанов // Теория и практика построения и функционирования АСУТП (CONTROL-2003): тр. междунар. науч. конф. – М.: МЭИ, 2003. – С. 217-221.

78. **Тверской, Ю.С.** Опыт создания и перспективы развития полигонов полномасштабных АСУТП энергоблоков тепловых электростанций / Ю.С. Тверской, С.А. Таламанов // Вестник ИГЭУ. – 2002. – №1. – С. 101-107.

79. **Тверской, Ю.С.** Освоение новой технологии АСУТП в учебно-научном процессе энергетического университета / Ю.С. Тверской, С.А. Таламанов, А.В. Голубев // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2004. – №6. – С.6-9.

80. **Тверской, Ю.С.** Особенности реализации имитационных моделей непрерывных технологических объектов в составе АСУТП тепловых электростанций / Ю.С. Тверской, С.А. Таламанов, А.Н. Никоноров // Идентификация систем и задачи управления (SICPRO '04): тр. междунар. науч. конф. – М.: ИПУ РАН, 2004. – С. 660-672.

81. **Тверской, Ю.С.** Повышение квалификации и профессиональная подготовка специалистов энергопредприятий в области современных АСУТП / Ю.С. Тверской, С.А. Таламанов, А.Н. Никоноров // Технология АСУТП электростанций: тр. междунар. науч.-техн. конф. «Состояние и перспективы развития электротехнологии» (XII Бенардосовские чтения); под ред. Ю.С. Тверского; Федеральное агентство по образованию, ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново, 2005. – С. 132-134.

82. **Тверской, Ю.С.** «Полигон АСУТП электростанций» – 10 лет успешной эксплуатации / Ю.С. Тверской, А.Н. Никоноров // Повышение эффективности энергетического оборудования: матер. VI междунар. науч.-практ. конф.; под ред. А.В. Мошкарин; Федеральное агентство по образованию, ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново, 2011. – С. 393-398.

83. **Тверской, Ю.С.** Прикладное обеспечение полигонов АСУТП электростанций / Ю.С. Тверской, А.Н. Никоноров, Д.А. Пронин; Мини-

## ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

---

стерство образования и науки Российской Федерации, ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина»; под ред. Ю.С. Тверского. – Иваново, 2012. – 174 с.

84. **Тепловой** расчет котельных агрегатов. Нормативный метод. – М.: Энергия, 1973.

85. **Теплофикационная** парогазовая установка Северо-Западной ТЭЦ Санкт-Петербурга. Статические характеристики / А.Ф. Дьяков [и др.] // Тепловые электростанции. – 1996. – №12. – С.9-16.

86. **Технические** и программные средства для обучения персонала – стандарты, нормы и реализация / А.Н. Ремезов [и др.] // Теплоэнергетика. – 2001. – №10. – С.29-32.

87. **Технология** АСУТП электростанций: тр. междунар. науч.-техн. конф. «XII Бенардосовские чтения». Под ред. д-ра техн. наук, проф. Ю.С.Тверского / Федеральное агентство по образованию, ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И.Ленина», Академия технологических наук Российской Федерации, Верхне-Волжское отделение. – Иваново, 2005. – 164 с.

88. **Тренажерная** подготовка оперативного персонала в энергетике – состояние и тенденции / В.С. Рабенко [и др.]. – Иваново, 2002. – С.200-247.

89. **Трухний, А.Д.** Парогазовые установки электростанций / А.Д. Трухний, А.А. Макаров, В.В. Клименко // Основы современной энергетики. Ч.1. – М.: МЭИ, 2002. – С. 199-222.

90. **Устройство** подготовки эксплуатационного персонала энергетического оборудования; пат. 2282248 Рос. Федерация / Тверской Ю.С., Таламанов С.А., Голубев А.В., Никоноров А.Н., Харитонов И.Е. – №2005101012; заявл. 18.01.2005; опубл.20.08.2006, Бюл. № 23.

91. **Фонд** экспериментальных характеристик объектов энергетики (базовая версия) / Тверской Ю.С., Тверской Д.Ю., Харитонов И.Е., Таламанов С.А., Никоноров А.Н.; свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2008620101 (Заявка №2007620323 от 12.10.2007); зарег. 18.02.2008.

92. **Цыпкин, Я.З.** Адаптация и обучение в автоматических системах / Я.З. Цыпкин. – М.: Наука, 1968.

93. **Шнейдерман, Б.** Психология программирования. Человеческие факторы в вычислительных и информационных системах / Б. Шнейдерман; пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1984. – 304 с.

*Разум на ощупь бредет в темноте...  
Даниил Гранин*

*Время не то, и мысли не те,  
Где на пути к итогу  
Разум на ощупь бредет в темноте,  
Все не найдет дорогу.  
Вадим Халупович*

## **ЧАСТЬ СЕДЬМАЯ**

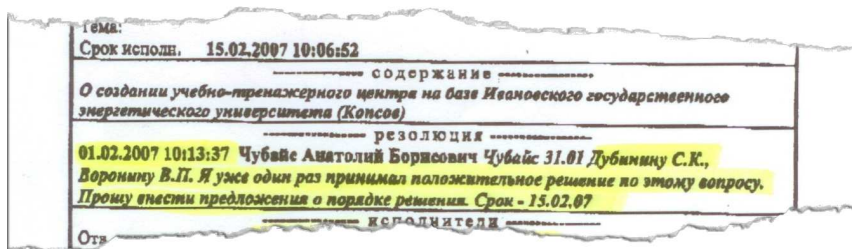
---

## **ЖИЗНЬ КАК ОНА ЕСТЬ**





## ГЛАВА 22. РАО... БРАВО?!



## ГЛАВА 22. РАО... БРАВО?!<sup>1</sup>

*2005 год, президент на новый срок.  
Чем закончится урок?  
А если что...*

А если засуха, и урожая нет –  
К нам «батяка»<sup>2</sup> сразу развернёт свой элеватор,  
А лопнет ФСК<sup>3</sup>! и вдруг погаснет свет –  
Захочет ли помочь чукотский губернатор?<sup>4</sup>  
Ему успеть бы, власть как «задурит»,  
Ещё и прикупить «Реал Мадрид»!  
(Совсем недавно он с улыбкой милой  
Виндзорской обзавёлся виллой.)  
Да и пока не дует у виска,  
Он тихий спонсор ЦСКА.  
(А если тёмному народу  
Его вдруг яхты станут не в угоду -  
Так чем же откупаться за свободу?)  
А «Юкос»? Нет, он в «клеточку» уже,<sup>5</sup>

<sup>1</sup> В.А. Демьяненко «Кому нужен покой и уют...» (лирика, энергетика), Иваново, «Новая Ивановская газета», 2011. – 256 с.

<sup>2</sup> Лукашенко.

<sup>3</sup> Федеральная сетевая компания.

<sup>4</sup> Роман А.

<sup>5</sup> Нефтяная компания продана. Ходорковский в тюрьме.

ЧАСТЬ СЕДЬМАЯ.  
ЖИЗНЬ КАК ОНА ЕСТЬ

---

И не помогут «яйца Фаберже»!  
Когда приватизируются сети,  
Вот уж «потешатся» гайдаровские «дети»!  
Морозите тарифы? Всем одна примета:  
Готовьтесь хлеб жевать без света!»

*И оппоненты чахнут понемногу!*

И вдруг - Нью-Йорк остался в темноте!<sup>6</sup>  
У коммунистов забурлило в животе.  
Но после выборов<sup>7</sup> они уже не в форме.  
Чтоб к – вертикальной – повернуть реформу.<sup>8</sup>  
А «расщепенец-Родина» – сплошные драки.  
Два лидера – два «петушиных» забяки:  
Один «большой», другой при росте малом,  
Но так и норовят вцепиться в уши либералам!

*И «новый» разберётся еще как!*

А тут и ВВП до выборов, всем для примера  
Вдруг «замочил» «фотомодель» – премьер!<sup>9</sup>  
(А что? У «нового» – другая вера?)<sup>10</sup>  
Быть может, он в госдолге разберется,  
Укажет, кто расплачиваться рвётся,  
И спросит: «Чей же ты, «дружок»,  
Что так торопишься отдать должок?  
Не ты ль недавно так легко  
По-свойски «наварил» на ГКО?!»  
Быть может, вспомнятся былые транши?<sup>11</sup>  
И все поделятся, успел кто раньше?!

---

<sup>6</sup> Электроавария в Нью-Йорке.

<sup>7</sup> Президентские выборы 2005 года.

<sup>8</sup> Назад, к «министерскому» принципу.

<sup>9</sup> В отставку отправлен премьер-министр.

<sup>10</sup> Фрадков.

<sup>11</sup> Займы на Западе.

ГЛАВА 22.  
РАО... БРАВО?!

---

(Приобретёт ли «новый» опыт и сноровку  
И «маленькую, тихую «Сосновку» ?!)<sup>12</sup>

*Конечно – не царь, но не очень базарь*

Вот так и «въехал» президент на новый срок,  
В бюджет продолжить назначать «оброк».  
(И в благодарность – юбилей в Кремле <sup>13</sup> –  
«Отцу свободы» на российской на земле!)

*А рублик – не бублик!*

И президент народу: «Рубль – на депозит!  
И нужен ли нам доллар-паразит?  
Он то и делает, что всем грозит!»

*А в народе – по погоде!*

Ну а народ? Тоскует вроде  
Без «Властилины» и Мавроди.  
Дождался, и опять обида:  
Мадам «отмылась», снова – пирамида!  
А суд над пойманным Мавроди?  
Он скоро будет на свободе?!  
А деньги? Десять триллионов  
Отдать народу? Нет таких законов!  
А если хочешь «помогать» народу,  
«Делиться» надо за свою свободу!

И на углу ворчат бабули:  
«С автогражданкой мужиков... обули!  
Халява банкам – пенсионная реформа.  
И льготы – на рубли. Да разве ж это норма?  
К внучатам хватит ли доехать на метро?  
На хлеб с водой... куда уж на пальто?

---

<sup>12</sup> «Дачка» бывшего премьера.

<sup>13</sup> 75 лет бывшему президенту.

ЧАСТЬ СЕДЬМАЯ.  
ЖИЗНЬ КАК ОНА ЕСТЬ

---

А за «Трансваль» ответит кто?  
С «Дубровкой» до сих пор одни лишь вздохи...

Да, без майора Пронина делишки плохи!  
Своё он отработал на Петровке,  
Теперь с «мигалками»... «воюет» на Рублёвке.

Содбизнесбанк, и «Диалог», и «Гута»,  
И «Павелецкий» – с рельс сошли как будто.<sup>14</sup>  
(Так называются банкирские уловки!)<sup>15</sup>  
А тут два лайнера... и взрыв на остановке...  
(Жди в переходе, и в метро, и на парковке!)  
В Беслане дети... и опять «чеченцы»...<sup>16</sup>  
Кто виноват? Конечно, «ополченцы».<sup>17</sup>  
Сенатская Комиссия? Прописан ей «горшок»:  
Уж год прошёл, а школу кто поджжёт?<sup>18</sup>  
Погром опять – и снова Нальчик  
(И даже пожурить... не виден «мальчик»).<sup>19</sup>

*И слышен свист: «Какой экономист!»*

А вот «народный» и московский босс –  
Экономист, смотался на Форос.<sup>20</sup>  
Ну а в Москве у следствия вопрос:  
На аквапарке крыша рухнула в мороз,  
И не понять – кто строил, кто хозяин,  
На «ферме» почему «шарнир» заварен?  
И вот уж тихо архитектор «сдан»...  
А тут – оранжевый Майдан!  
Помчался босс служить Кремлю:  
«-Ах, Янукович, я тебя люблю!

---

<sup>14</sup> В отставку отправлен премьер-министр.

<sup>15</sup> Банковские лжебанкротства 2005 года.

<sup>16</sup> Погибли дети, взятые в заложники.

<sup>17</sup> Местные жители (версия) спровоцировали штурм.

<sup>18</sup> Комиссия (Торшин) ничего не выяснила.

<sup>19</sup> Полная безответственность.

<sup>20</sup> Мэр Москвы.

## ГЛАВА 22. РАО... БРАВО?!

---

Когда ты будешь президентом,  
То непременно долг отдашь цементом!»  
Опять же боссу не «попёрло» – <sup>21</sup>  
Для «апельсина» маловато горло!  
Он, к сожаленью, не учел,  
Что брать с собой не надо пчел.  
Уж лучше б из своих идей  
Он предложил – про лошадей.

*Это все пресса – для своего интереса*

И всюду нос суёт «свобода слова».  
Хвост прищемить ей надо б снова!

«Тише, мыши, Госплан на крыше!»

Вот 30 лет назад всё было тише.  
Никто не знал, что делалось на «крыше».

А экономика? Да, 30 лет назад  
Госплан решал все наши споры,  
Все знал про нефть, про киловатт,  
Куда и как тянуть опоры<sup>22</sup>  
(Откуда мог он знать о том,  
Что их попрут в металлолом?)<sup>23</sup>

*И штурмом брали результат!*

Тогда с Госпланом «шли» «трёхсотки»,<sup>24</sup>  
За Черепетской – Конаковская, Кашира и Рязань;  
Монтажникам под Новый год – бочонок водки,  
И в облака клубами – сернистая дрянь!  
«Медведь» – из труб, поселок «рад»...<sup>25</sup>

---

<sup>21</sup> «Оранжевая революция» победила.

<sup>22</sup> Линии электропередач.

<sup>23</sup> Воровство алюминия.

<sup>24</sup> Блоки по 300 МВт.

<sup>25</sup> Черный дым, сернистые осадки, выпадавшие на поля.

ЧАСТЬ СЕДЬМАЯ.  
ЖИЗНЬ КАК ОНА ЕСТЬ

---

А вот и премия за первый киловатт!  
Судьба природы решена.  
Их надо было вешать... ордена!  
На стройках пусковых – рекорды века:  
По три «трехсотки» в год (и каждая – калека)!<sup>26</sup>  
Да, так и штурмовали всю страну –  
Что энергетику, что БАМ, что целину.  
(Сегодня ж нам – другой урок:  
За год в стране один лишь вводим «блок»!)

*Эксплуатация! Что это за нация?*

«Рязанская»! Эксплуатации досталось!  
Халтура ТЭПа, брак заводов, монтажа:<sup>27</sup>  
Вокруг горело, сыпалось, взрывалось,  
Ну а она дерзала, Родине служа!  
Училась «пиками долбить» до крови<sup>28</sup>,  
И при пожарах знать, где есть вода;  
Соревновалась – всё на честном слове.  
Носила на груди – «Передовик труда»!  
Вагонопрокидыватель? Все там были!<sup>29</sup>  
Замёрзший уголь и отбойный молоток,  
Металлоуловители? О них вообще забыли,<sup>30</sup>  
И искорёженные мельницы – итог!  
А что строители? К другому фронту!  
Один министр, они своё возьмут.  
А недоделки? Все – по капремонту,  
И продолжай, эксплуатация, геройский труд!  
Недавно юбилей – тридцатая уж ёлка.  
Но почему без них – она?  
Ответили бы нам Смирягин, Волков:<sup>31</sup>  
«Не мы – другие!..» Да, такой была страна.

---

<sup>26</sup> По три блока по 300 МВт пускались за один год с большими недоделками.

<sup>27</sup> Институт «Теплопроект».

<sup>28</sup> Расшлаковка котлов.

<sup>29</sup> Разгрузка вагонов.

<sup>30</sup> Магнитные устройства.

<sup>31</sup> Первые руководители Рязанской ГРЭС.

## ГЛАВА 22. РАО... БРАВО?!

---

### *А партии вопросы задают?*

Вопросов «глупых» мы не задавали;  
«Догоним! Победим!» – сидело в голове.  
Куда девалось всё, что выпускали?  
А мясо «догоняли» лишь в Москве!  
За 300 вёрст мы к «Елисейскому» мчали  
И там Россию-матушку встречали!  
(Уж не за полные прилавки так умело  
Слепилось «елисейское дело»?)<sup>32</sup>

### *«Пьяные» годы»*

Т-250... «Эксплуатация» мужала.<sup>33</sup>  
Познав в достатке технику и долг,  
На капремонты «крохи» «выбивала»,  
Но от «подпасков» пьяных – что за толк?  
Каков пастух (а стадо – вся страна)...  
Она «гудела» и цепляла ордена.<sup>34</sup>

### *Трезвые мысли*

А сколько строек по стране «горбатых» –  
И до сих пор всплывают соцгрехи!..  
А где-то в восемьдесят пятых  
Вдруг встрепенулись наши «пастухи»!  
Нет, «экономика не стала экономной»,  
И «хозрасчёт» прошёл забавой скромной! –  
Им просто захотелось за границу  
«Погнать» наш, с «цепью», унитаза,  
Заказывать на ужин пиццу  
И разменять на «Шкоду» «АвтоВАЗ».  
(Что «АвтоВАЗ»? В грязи, звеня ключами,  
«Счастливицы» «отдыхали» с «Москвичами»!)

---

<sup>32</sup> Директор знаменитого магазина «Елисейский» впоследствии был расстрелян.

<sup>33</sup> Новые теплофикационные блоки 250 МВт.

<sup>34</sup> Время Брежнева.



ЧАСТЬ СЕДЬМАЯ.  
ЖИЗНЬ КАК ОНА ЕСТЬ

---

*А «умные» в Думу пошли!*

И в восемьдесят пятом вдруг решили:  
Кооператоры спасут страну!  
Все по ночам строгали, рыли, шили,  
А утром на работу шли... ко сну.  
(Не получилось мужика зарплатами  
Заставить рыть двумя лопатами!)  
Но первые тогда миллионеры  
(Одной и той же были веры)  
Погнали за кордон металлолом  
(Они все в Думу «дернули» потом).  
Зачем им конкурентный унитаз,  
Когда есть лес, и нефть, и газ!

*В «кресло» сядет – кто больше нагадит!*

Ещё запомнился момент –  
Шёл по стране эксперимент;  
Директоров народу выбрать разрешили  
(Вдруг это «инвестиции» и есть?),  
Профорги и парторги заспешили –  
В борьбе приятно конкурента съесть!  
(Тогда уже, в предвыборном угаре,  
«Достойные» велись пиары!)<sup>35</sup>  
Сегодня ж власть сообразила,  
Что назначенец гибче натошак, –  
И начал суетиться мило  
Губернский выборный «общак».  
А власть к нему – любви примеры –  
Кого в Совбез, кого в вице-премьеры!  
(И вот уж назначенцы с «рюкзаками»  
К столице потянулись косяками.)

---

<sup>35</sup> Выборы быстро отменили.

## ГЛАВА 22. РАО... БРАВО?!

---

### *Партия – наш рулевой!*

А помнит кто? Внедрялись к технократам  
Партийные вожди, хотелось им «запеть»<sup>36</sup>  
И хором: «Обуздали мирный атом!»,  
А вышло нам Чернобыль поиметь.  
Напомнить надо бы об этом,  
Как партия «накрыла» взрыв секретом:  
Когда металл «закручен» в «гамма-плетти»,  
А во дворах играли дети...  
Когда «Ура, рекорды все побиты!» –  
Дурак нашёлся, чтобы снять «защиты».  
Да знал ли главный инженер-организатор,  
Зачем нейтронам нужен радиатор<sup>37</sup>,  
И согласовывать зачем (и с кем) программы,  
Когда так хочется «запеть», не зная гаммы?  
А где надзор и министерство, где наука?...  
Спасет авось и круговая выручит порука!

### *И сколько же «чудес» еще наделает балбес?*

Вот и сегодня время нам грядёт:  
Хозяин новый к «генераторам» придет.  
Есть у чиновников особый интерес –  
Под личный бизнес – завести» АЭС!  
А что, такие есть «заходы»?  
А кто нам ядерные подарил отходы?  
И чем же Думу «одурманил» экс-министр  
(Теперь в судах он «по себе» – «магистр»)?<sup>38</sup>  
А вот и снова анекдот на бис  
(Но кто-то про себя - и матом):  
«Дефолтный» «киндер» был «сюрприз» –  
Сегодня, глядь, он – «киндератом»!

---

<sup>36</sup> Энергетику наводнили работники ЦК.

<sup>37</sup> При испытаниях реактор ЧАЭС оставили без резервного охлаждения.

<sup>38</sup> Экс министр атомной энергетики Адамов. По нему судебный процесс в США и в России.

ЧАСТЬ СЕДЬМАЯ.  
ЖИЗНЬ КАК ОНА ЕСТЬ

---

(И можно предсказать заранее –  
АЭС надежные получатся в Иране!)

*Своих и били за границей!*

Ещё запомнилась «загранроссия»,  
Она и там своих косила.  
Да вот пример. В Алжире в девяностом <sup>39</sup>  
Пускал «двухсотки» Технопром <sup>40</sup>.  
Специалистов там «кидали» просто –  
«Внешэконом»-дефолт... Подробнее о том.

Алжир, ТЭС Жижель. 7 утра, шлагбаум.  
Впервые в советской «загрансудьбе»  
Ударной стройке объявлен «нокдаун» –  
Колонна на митинг шагает к «трубе»!

Кто не в колонне, в кювете прождите!  
Сегодня три пункта гремят над трубой:  
«Верните долги! По контракту платите!  
Мы не верим ему, «генерала» долой!» <sup>41</sup>

Жандармы, «списки», контрактов уловки...  
Зачинщиков выслать или «купить»,  
Лишь бы не было здесь голодовки.  
Сломать украинцев, но не платить!

Зачем же в Москву? И какие там меры?  
Задачу решает «бешеный волк»;  
Вот бы ему подвезли бэтээры  
У трубы «прокатиться», он знает в них толк!

---

<sup>39</sup> 1990 г., банковский дефолт.

<sup>40</sup> Технопромэкспорт.

<sup>41</sup> «Генерал» - гендиректор стройки, в свое время строил Чернобыльскую АЭС.

## ГЛАВА 22. РАО... БРАВО?!

---

Алжир, ТЭС Жижель. 7 утра, шлагбаум.  
Посол стал гарантом в нашей судьбе.  
Если обманет, снова – «нокдаун»,  
И кто был в кювете, с ними пойдет к «трубе»!

*Это что? Новый 17-й грянул?*

Восьмидесятые вот так и пролетели:  
«Стене» Берлинской вышел срок,<sup>42</sup>  
Пустые полки по стране имели<sup>43</sup>  
И гласности отчаянный рывок.<sup>44</sup>  
Союз «размяк»: республикам – свободу.<sup>45</sup>  
Россию «придавил» уральский «демократ».<sup>46</sup>  
«Вождей» последних «крик» к народу:<sup>47</sup>  
«В стране анархия! Назад, назад!»  
ГКЧП... В столице – баррикады,<sup>48</sup>  
И жертвы первые «победе на алтарь»,  
Ликует Запад, и народные «парады».  
Да, избран наконец российский «царь»!<sup>49</sup>

*Что делать в этой суматохе?*

А энергетики? Они определялись –  
Кто в урну партбилет, а кто и – под замок.  
Одни притихли и боялись,  
Другие рвали свой кусок.  
А третьи верили: всё хорошо случится –  
Свободу б только не спугнуть!  
(Вот дураки!.. «Бритоголовый» постучится –  
Квартиру ли, машину грабануть.)

---

<sup>42</sup> 1989 г. Падение Берлинской стены.

<sup>43</sup> Товарный кризис.

<sup>44</sup> Свобода печати, демократизация выборов.

<sup>45</sup> Выход республик из состава СССР.

<sup>46</sup> 1990 г. Власть в России у реформаторов.

<sup>47</sup> Июль 1991 г. «Слово к народу». Партийным функционерам.

<sup>48</sup> Попытка государственного переворота.

<sup>49</sup> 1991 г. Б.Н. Ельцин избран Президентом России.

ЧАСТЬ СЕДЬМАЯ.  
ЖИЗНЬ КАК ОНА ЕСТЬ

---

*«Династии» – истории творцы!*

А кто премьер – истории ваятель?  
Вы помните, когда громили Русь,  
У революции был свой писатель –  
Теперь внучок щекастый балуется пусть!  
Вовсю «дерзал», ведь «царь» доверил  
У стариков забрать последние гроши.<sup>50</sup>  
Теперь детей пугают на его примере,  
Когда идёт «Спокойной ночи, малыши».

*Не ведали, что творили?*

Но «гарвардцы», быть может, и старались,<sup>51</sup>  
Не зная ту из множества дорог,  
И не заметили, как «вороны» слетались  
На «квоты», «займы», «конкурсы», «залог».  
«Не знали» про амнистию, «ручные» банки,  
Про ГКО, про транши, про оффшор,  
У Дома Белого про танки,  
И про семейный «плотный двор».  
Кто «сел» на акции, кто «сел» на бартер  
(Что ни министр, то твердый бизнесмен),  
Что в Думе куплен «первый партер»,  
И что на льготы шло взамен!

А кто банкротил? Чей «тот» пистолет?  
«Ребятки» не заметили, конечно, нет!  
А правосудие? – «Ни рылом и ни ухом»,  
Когда земелька конкурентам – пухом!  
А как охранник «юкосный» «мочит»?  
Ему и не «приказывал» никто, и «не учил»  
(За это он и «лишку» получил).<sup>52</sup>

---

<sup>50</sup> Денежная реформа Гайдара.

<sup>51</sup> Группа реформаторов из окружения Президента.

<sup>52</sup> Пожизненно осужден рук. охраны «Юкос».

## ГЛАВА 22. РАО... БРАВО?!

---

*А у тех, по простоте, глаза, что ли, «не те»?*

Наверно, знали, это всё китайцы.  
У них не «Фаберже» – другие «яйцы»:  
Закон, наука, школы, прокурор,  
И вышка светит, если – вор!  
И за наркотики – всё так же «круто».  
Проверьте, если хочется кому-то!

*А остаться лучше с носом?*

А энергетика?! Старалась от души!  
Народ, не разумея в мастерстве актёрском,  
За ваучером акции «своронил» за гроши –  
Всё быстро промелькнуло под «наперстком»!

*«На старте» локти – не помеха!*

А позже?.. Ну, братва, резвись!  
У Думы столько «выбито» «поправок»!  
Сегодня все –хозяева – нашлись,  
«Портфельных» вытеснив «пиявок»!<sup>53</sup>  
Теперь хозяева – «инвестмоторы»<sup>54</sup>  
(В «своё» приятно и «вложить»!).  
Открой, премьер, к реформам «шторы» –<sup>55</sup>  
Все бросятся прилавки потрошить.  
Кто «провода»,  
кто «генераторы», а кто «энергосбыты»  
(По «проводам» у мэра головная боль);<sup>56</sup>  
И, глядь, вся энергетика размыта.  
Ну а бюджету что – над воздухом контроль?  
(Контроль налоговый, проверки – ежегодно.  
Но контролёров «Юкоса» показывать не модно!)

---

<sup>53</sup> Спекулянты-акционеры.

<sup>54</sup> Стратегические инвесторы.

<sup>55</sup> Начать продавать госпакеты акций энергокомпаний.

<sup>56</sup> Власти Москвы забирают сети при реформировании «Мосэнерго».

## ЧАСТЬ СЕДЬМАЯ. ЖИЗНЬ КАК ОНА ЕСТЬ

---

Там аудитор «Купер» – супер был, бесспорно!  
(Но к нашему «гуманному»  
как в «разработку сел» –  
Так «заключение» по «Юкосу» покорно  
Сжѐг, говорят, или без хлеба съел!  
И сам сегодня, видит бог,  
Он на такой же сел налог.)<sup>57</sup>

*На рынке всякий рад, когда имеет свой откат!*

И снова – чуть назад, на «рынок»  
(Тариф вам нужен? Что ж, подсуетись!).<sup>58</sup>  
С «губерней» каждой – поединок:  
«Живым рублишком» расплатись!  
Но у «живого» свой был фронт –<sup>59</sup>  
Он на наличный шел дисконт.

*И чья это вина – по власти новая волна...*

А вот и губернатора-нижегородца  
«Царь» выдвинул народу напоказ:  
Он молод, за чиновников возьмется  
И детских не наделает «проказ».

Чинуш – на «Волги»! Очень здорово,  
А «киловатту» быть «карманным» суждено;  
К «корове дойной» «свой» приставлен к РАО –  
По-современному, с ОМОНОм, как в кино!<sup>60</sup>

А тут дефолт нам заработал  
Нижегородский Гарри Поттер.  
(«Волшебничек»! Играет перед сном  
В «Аврору» на мосту и Белый Дом.)<sup>61</sup>

---

<sup>57</sup> Ему предъявили неуплату налогов.

<sup>58</sup> Обратились в ФСТ.

<sup>59</sup> Бартерные или вексельные расчеты людей, имеющих личную заинтересованность.

<sup>60</sup> Собрание акционеров РАО избрало нового председателя Правления – банкира из Н. Новгорода, действующего предправления «выселяли» с ОМОНОм.

## ГЛАВА 22. РАО... БРАВО?!

---

*Вот и лампа Ильича оказалась у «врача»!*

Дефолт! В Правительстве «обновка» –<sup>62</sup>  
И тут же в РАО – рокировка!  
«Приватизатор» – главный, новые законы:  
«Сначала деньги!» – истина проста.  
И попритихли бизнес-регионы:  
Оплата поднялась, а с ней и «частота»!<sup>63</sup>  
Пошла рентабельность, – заплачены – налоги  
(«Прозрачный» «Юкос» всем в «пример»),  
За «кризисные дочки» нет тревоги.<sup>64</sup>  
Ещё бы взять реформ барьер!<sup>65</sup>

*Дырки, а не бублики, получишь от бизнес- публики!*<sup>66</sup>

Премьер же новый, он не так ретив,<sup>67</sup>  
Не понимает логики сюжета:  
«Чем раньше распродать «актив»,  
Тем больше дырок у бюджета!»  
(Инвесторы в налогах – «фараоны» –  
Как надо «выстроят» законы!)

*Кому-то невдомек: не надо власти поперек!*

А тут проблема, как её решить?  
Строптивный «ЮКОС» надо «потрошить».<sup>68</sup>  
Нашлась тотчас и «однодневка»<sup>69</sup>,  
С Байкала та сбежала «девка».

---

<sup>61</sup> Расстрел Белого Дома.

<sup>62</sup> Кризис 2008 г.

<sup>63</sup> Увеличилась надёжность электроснабжения.

<sup>64</sup> Энергосистемы РАО -неплательщики за электроэнергию.

<sup>65</sup> Продать инвесторам государственную долю РАО.

<sup>66</sup> Инвесторы не исполнили свои обязательства перед государством.

<sup>67</sup> Фрадков.

<sup>68</sup> Продать с молотка.

<sup>69</sup> Подставная фирма «Байкалфинанс».



## ЧАСТЬ СЕДЬМАЯ. ЖИЗНЬ КАК ОНА ЕСТЬ

---

Вот так, в «семейной рокировке»:  
«Своим» – на блюдечке, и по дешёвке!  
Банкротство если – значит, «без обмана»,  
И позже нос покажет «Прана»,  
С десяток их объявится потом.  
(За ними кто – «Роснефть» или «Газпром»?)

*Как приятна песня та – про любимого...*

А Дума что? Все партии – к ноге,<sup>70</sup>  
И пролетели «правые» со свистом.  
Зато всегда при «пирог»  
Любимец «телепрессы», сын юриста!  
(Его ребятки пошалили в Пскове,  
Что отходняк поют последней там корове!)

*Вся география – местная мафия.*

Свободный выбор? Вот вам – на Алтае...  
«Чужой»! Не выжил в «местной стае»!<sup>71</sup>  
(Избранников народных как сберечь?  
Отмена выборов! – проблема с плеч).

*По ВВП мы «их» догоним, а по инфляции – кого?*

А что Правительство? «Уволит – неспеша?  
И объяснит всем аналитикам-воронам;  
«Похожи» в долларах наш ВВП и США,  
Как триллион – на десять триллионов.  
А нефтедоллары? Страна проглотит –  
Вперёд на «крепком» (дармовом) рубле!  
А что инфляция? Кого она заботит?  
Ведь это бизнес на «игле»!  
Клерк в банке рассчитает, как в аптеке,  
Ваш депозит или кредит по ипотеке.

---

<sup>70</sup> Ужесточились условия выборов партий в Думу.

<sup>71</sup> Губернатор-артист Михаил Евдокимов.

ГЛАВА 22.  
РАО... БРАВО?!

---

*Да, нелегка задача та – взять у удава изо рта!*

Да, сколько б ни было примеров,  
Где инвестиции – большой секрет,  
И знает лишь совет акционеров:  
В оффшор излишки – «правильный» совет!  
А реквизируют? Но уж пустили корни,  
И Запад не отдаст свой урожай,  
А «царь» – по миру, в окружении «дворни»:  
Ему друг – Билл: «Ты, Бобби, заезжай!»  
А он нам с трапа: «Дорогие рассеяне!  
Вы думали, вас «кинули» по пьяни?  
Пока я жив, не будет вам мороки  
Определять для президента сроки.  
Преемник мой, он вам ещё послужит  
(С моей «семьёй» пока что дружит).  
Тем и сильна моя «империя».  
Что на кредитах держится доверия!»

*От приватизации к централизации*

А от чеченской как избавиться напасти?  
Конечно, укрепление госвласти!  
И олигарху каждому – по «норме»  
«Блошиный» поддержать бюджет.  
Вот и «Норникель», он «в спортивной форме»,  
Готов помочь, не пачкая манжет.  
Недавно (помощи он ради)  
Себе заводы приобрел в Канаде.  
Он знает, как не сесть на мель.  
Чуть что – на склоны в Куршавель!

*С виду простаки, а такие мастаки!*

Но всё ж затрясся бизнес от тревог,  
Уже «созрел» вернуть «налог»!  
(Суды прессуют «Вымпелком»  
(Теперь тот «купит» что-нибудь тайком!)

ЧАСТЬ СЕДЬМАЯ.  
ЖИЗНЬ КАК ОНА ЕСТЬ

---

Все сбыть торопятся... Кому и где ж?  
Свой бизнес – лучше за рубежом!  
Потом осваивать по новому закону  
«Свободную» экономическую зону.  
Вот и один из первых, он (к примеру)  
13 миллиардов наварил –  
«Сибнефть» народную «вернул» премьеру,  
Теперь начнёт с Камчатки и Курил!<sup>72</sup>  
(Аренду Президент ему «продлил»,  
Народ Ура! – разинув глотки.)  
Кого ж ещё – «хозяином» Чукотки?

*Вот будет лавка у «прилавка»!*

А энергетика? Предвидя «штормы»,  
В три бизнес-единицы строятся ряды:<sup>73</sup>  
Две с флангов метят на реформы,  
А третья: «Вам ведро воды?»,  
Ведь третья – «Гидро-ОГК»:  
(Да, да – «халявная река» ).  
Что в ней такого? Горная вода,  
Да колесо, да провода.  
Дешёвый киловатт? Один момент.<sup>74</sup>  
Вы чей на рынке конкурент?  
Темно и холодно, на окнах иней?  
Так выпускайте алюминий!  
Есть и четвёртая «БЕ», зовётся – «Сети»,  
Она пока что – на «примете».<sup>75</sup>

---

<sup>72</sup> «Сибнефть» продана Абрамовичем другим госструктурам.

<sup>73</sup> БЕ-1, БЕ-2, ГидроОГК.

<sup>74</sup> Алюминиевому производству поставляется более дешёвая электроэнергия.

<sup>75</sup> Объёмы приватизации сетевых активов уточняются.

## ГЛАВА 22. РАО... БРАВО?!

---

*Быть (не присниться и валу) у Президента на виду!*

Но – главное! Пусть поиграют «дети»,  
Зимой и Президенту нужен киловатт.  
«Приватизатор» главный, он за все в ответе  
Держать на привязи «волчат».  
Давно попрятались все «мыши»,  
А он один, циркач, на скользкой «крыше»!  
И представляет отморожкам интерес  
Его (в «бронезилете») «Мерседес».<sup>76</sup>  
Ему теперь и в самом деле  
Опасно появляться в Куршавеле.

*Есть формула одна – всегда «хозяйская» цена*

А где ж торги? Все ждут отмашки,  
Но как насчёт пустых «корзин»?  
Без башмаков и без рубашки,  
Платить за киловатт и за бензин?  
(«Мы по цене Америку догнали, Зин!»)  
А вдруг «хозяин» новый (он богат)  
И цену сбросит нам за киловатт?

Но рынок есть при всём при этом!  
И теплостанции – вдруг конкуренты ГЭС,  
И «гидрокиловатт» по рыночным приметам  
До «костромского» набирает вес!<sup>77</sup>  
(У ГЭС когда-то был, считая от затрат,  
Раз в несколько дешевле киловатт!)  
Кому навар, кому под дых –  
Кто разберётся в ценах «узловых»?<sup>78</sup>  
Да и «особых» цен, их нет в помине...  
Всем «наравне» дешёвый киловатт.  
Но на плотины «Алюминий»

---

<sup>76</sup> Покушение на Чубайса.

<sup>77</sup> Гидрокиловатт по цене приблизился к цене ГРЭС.

<sup>78</sup> Цены на свободном рынке.

ЧАСТЬ СЕДЬМАЯ.  
ЖИЗНЬ КАК ОНА ЕСТЬ

---

Имеет «равно-личный» взгляд!<sup>79</sup>  
И рынок оптовый – совсем не одеяло,  
Чтоб на себя стянуть его кто мог;  
Ну, иногда лишь у соседа «отмерзало»,  
Да там, внизу – в районе ног!<sup>80</sup>

*Урок – это не «курок»*

Вот так отстроились три РАО,<sup>81</sup>  
И «конкурентный» рынок им – под бок»,  
А что? Да разве хуже стало?  
Закончился ещё один урок.  
(Приятно, лежа на диване,  
Порассуждать о «караване»,  
Полаять, поскулить слегка.  
Но «караван» идёт... пока.)  
И география «косая» не «взгрустнула»;<sup>82</sup>  
Какой-то обезьяне дали кисть,  
Хвостом она по энергетике мазнула –  
Теперь, ОДУ. пойд-ка разберись,<sup>83</sup>  
Какая правит бизнес-единица,  
Ей (в регионах) где граница?  
Подумаешь! Хвостом один виток –  
И не поймёшь, где Запад, где Восток!  
Балансы, топливо и бизнес-планы –  
По новым офисам всё разлетелось враз.  
«Да, этому поставщику платить-то рано,  
Он в бизнес-единице не у нас!»  
Какой контроль? Пусть платят сами!  
Пусть будет все на арбитражный лад.

---

<sup>79</sup> Собственники алюминиевых активов покупают активы гидроэлектростанций.

<sup>80</sup> Малому бизнесу цены на электроэнергию трудноподъемны.

<sup>81</sup> БЕ 1, БЕ-2, Гидро ОГК.

<sup>82</sup> В объединенные компании ОГК вошли электростанции из разных регионов России.

<sup>83</sup> Объединённые диспетчерские управления.

## ГЛАВА 22. РАО... БРАВО?!

---

Цивилизация пришла с договорами,  
А что, их не было лет пять назад?  
Тогда и были те в почете,  
На векселе кто наварил, кто – на «зачете»!

Назад теперь и не отступишь,  
Скорей продашь, скорее купишь.  
А можно что-то разменять?  
Кому-то пригрозить, отнять?  
Или кого-нибудь «нанять»?  
И энергетики коснется та «забава»,  
Что назовётся «РАО-браво».  
Вот и недавно бизнес-энергет в Самаре...  
Прутом по голове его (за что?) «убрали»?

А «мост» как строить? Есть услуга,  
Спросите опытного друга.  
«Конечно – вдоль!» – ответит друг «Корана»:<sup>84</sup>  
А результат? Пока что рано!  
Зачем нам дилетантов споры?  
Корректировки будут на ходу,  
Посадим всех на договоры  
И в них «пристроим» ЦДУ.<sup>85</sup>  
(Разделим всех на тыщи пар:  
Гуляй по проводам, товар!)  
«Неценовая зона, рынок мощности, услуг  
(И конкуренты цены сбросят вдруг?!).  
За киловатт по счетчикам платить хотите?  
Но «виртуальный», наш, сначала оплатите!  
И биржа тут как тут! Эксперимент!  
Из воздуха свой сделает процент.

Пока наш киловатт дойдет до утюгов,  
«Всплывут» десятки яхт у южных берегов!

---

<sup>84</sup> Технический консультант по «рынку».

<sup>85</sup> Центральное диспетчерское управление.

ЧАСТЬ СЕДЬМАЯ.  
ЖИЗНЬ КАК ОНА ЕСТЬ

---

*Он нам знаком – московский Ом.*

Диспетчерам же – им, конечно, мало  
Своих с надёжностью забот.  
Недавно вот Москва «упала»,<sup>86</sup>  
«Гуманный» враз разинул рот! –  
Его ли хватка незнакома?  
А рядом – кожаный картуз».   
Да, тот, что по закону Ома  
Подстанций знает – перегруз».   
Спросил бы лучше у жулья,  
Почём квадратный метр жилья,  
А в Южном Бутово – кому «поклон»?  
За «приставов», «бульдозер» и ОМОН?

*Страна невезучая – продажа «ползучая»*

Да, новость: наш премьер созрел!  
Реформам – ход без лишнего ажиотажа,  
И, хоть с аукционом не успел,  
Успеет тихая «ползучая» продажа.  
И вот уже «партнёрства» на мази:  
Газ – немцам, в нефть «залезут» Буши;  
А что же Проди, Брауну и Саркози?  
Им мертвого осла ведь не предложишь уши.  
А ОГК и ТГК<sup>87</sup> – надёжная забава...  
Давай в инвесторы, Европа, браво!

*Ты лучше торопись, приватизатор!*

А туг стабфонд – на поле брани  
(Уже «построились» «пираньи»<sup>88</sup>).  
Приватизация в России – номер два,  
Второе ГОЭЛРО – не спи, братва!<sup>89</sup>

---

<sup>86</sup> Авария в сетях Мосэнерго.

<sup>87</sup> Генерирующие компании.

<sup>88</sup> Олигархи-собственники.

<sup>89</sup> Стратегическая программа строительства новых генерирующих мощностей.

## ГЛАВА 22. РАО... БРАВО?!

---

Хозяин «поколений» – не дурак,  
Зачем же тратить свой – пятак»?  
«Тариф давай – затраты нам отбить.  
За киловатт страна должна платить!»

«За наши деньги – ваше ГОЭЛРО,  
Оно нам как в седалище – сверло!»

*... А мы без всяких там «корзин», наскребем на «магазин»*

Ну а народ? Он к телевизорам скорей –  
Бродить по «Улицам разбитых фонарей».  
И не осилить ту загадку иноземцам:  
«Опять с ракетами – к «туземцам»?!

История, политика – они как паутина:  
В них не поймёшь, кто жертва, кто паук.  
Закончится ещё одна «путина»,  
И «сети новые» – на «новый круг».  
(А что сказал бы нам Гонгадзе-друг?)<sup>90</sup>

*Есть у них особый дар: Делать рынок – не «базар»*

Чуть не забыл, ведь новость есть одна:  
Нам «мышь» второго родила «слона»!<sup>91</sup>  
Ныл несмышлениш, звался он – «ОРЭМ»,<sup>92</sup>  
«Потужилась», теперь есть «слон» – «НОРЭМ»!<sup>93</sup>

И кто придумал, что – «мышатница» больна  
(Не тех «слонов» «несет» она)?  
Никто и не бежит и не устраивает давку,  
Чтоб разнести «родителей» и «лавку»!

---

<sup>90</sup> Журналист. Заказное убийство на Украине.

<sup>91</sup> Администратор торговой системы АТС.

<sup>92</sup> Оптовый рынок электроэнергии и мощностей.

<sup>93</sup> «Н» означает - новый.



ЧАСТЬ СЕДЬМАЯ.  
ЖИЗНЬ КАК ОНА ЕСТЬ

---

Зачем спешить, ведь через год Минпром  
Сам превратится в тот «ротдом»;  
Он и решит – кого рожать,  
И надо ль от «слонов» бежать!

*2007-й: есть преемничек и мой!*

2007... Ушёл наш «рассеянин»,  
«Преемник-2 почти что «устаканен».  
Ему и формулу придется сохранить:  
«Вернуть – делить, вернуть – делить»!  
Вот и «Руснефть» готовится к продаже  
(В «семейном» будет «экипаже»).

Народ доволен, между прочим,  
Как Президент нам сделал «Сочи».  
(Борьба на сметы! Да народу невдомек,  
Почем «финансовый поток!»)  
А «нацпроекты», а второе ГОЭЛРО?  
Ответ наш Западу по ПРО<sup>94</sup>  
И возле полюса, на севере – «кино»  
(Российским флагом «укрепили» дно),<sup>95</sup>  
Да и с «полонием» – достойная игра  
(Разведку, как же, наградить пора!)  
Скотланд-Ярду сделали «козу» –  
Теперь «на счётчик» – «Березу»!  
К тому ж и «батька» платит без апломба,<sup>96</sup>  
И Грузию пугнула бомба.<sup>97</sup>

Народный рейтинг (точно бы) помог  
Дать Президенту третий срок.  
Но он пока что держит слово,  
И кресло для него готово;

---

<sup>94</sup> Противоракетная оборона Буша.

<sup>95</sup> Застолбили за Россией дно океана.

<sup>96</sup> Белоруссия стала платить за газ.

<sup>97</sup> Чья-то бомба залетела в Грузию.

## ГЛАВА 22. РАО... БРАВО?!

---

«Свои» расставлены все рядом,  
Надеясь справиться с «парадом»!  
Но озабочен президентский двор –  
Идти к преемнику придётся на ковёр.  
Но вот – защита от укусов комариных:  
Есть лидер партии «народных и единых»!

*И вот вопрос: каков прогноз?*

А энергетика в 2008-м?  
Когда СУАЛ, СУЭК, ГАЗПРОМ,  
Норникель, КЭС и РКС<sup>98</sup>  
Её под свой подтянут интерес  
(Да и пришедшие ЭНЕЛ(ы)<sup>99</sup>  
В законах уберут «пробелы»),  
ВновьТГК объединятся со «сбытами»  
И разберётся география с «хвостами»...  
Да нет! Какой там будет «сговор»?  
Ведь АТС – искусный «повар»!<sup>100</sup>  
Инфляция? И брошенные стройки?  
Зачем гадать у «барной стойки»?  
История... Она одна рассудит здраво,  
С каким акцентом скажем: «РАО – БРАВО».  
Ведь только что закончилась «разминка»,  
А что придёт с советом рынка?  
Куда уйдёт приватизатор?  
(Живуч «Энерготерминатор» –  
Он с «властью» снова в боевом броске  
Продолжит строить замок на песке!)

Ну а какая будет нам погода –  
Подскажет – Человек 2007 года!  
Он лидер нации, и каждому – за брата  
(И «гланды», точно, оторвёт у НАТО!)

---

<sup>98</sup> Структуры-собственники энергокомпаний.

<sup>99</sup> Итальянские инвесторы.

<sup>100</sup> Администратор торговой системы.

ЧАСТЬ СЕДЬМАЯ.  
ЖИЗНЬ КАК ОНА ЕСТЬ

---

Очередной нам будет «мастер-класс» –  
«Приёмам болевым» обучат нас!

*А вот и смена власти! Какие ожидаются напасти?<sup>101</sup>*

И вспоминается нам детская пора,  
Когда мечтала и выросла детвора.  
Одни из них – лихие драчуны,  
А кто не забияки – были «певуны».  
Вот и у нас теперь такая пара  
(Все по истории, из старшего Гайдара).  
Им время подошло Кавказ учить  
И мир рублём «пузатеньким» лечить.  
И заглянуть коррупции в глаза –  
Она, святая, держит взгляд на образа  
И примостилась с ними за одним столом:  
«Всех сразу нас? А с кем же вы потом?  
У нас госбизнес под контролем, будь здоров,  
Мы в нём везде – Совет директоров!  
И в энергетике всё вышло не дыряво:  
У нас «Русгидро», «Сети», «Интер-РАО»!<sup>102</sup>

*Слава богу, в этот раз все дурное – не от нас!*

А экономика «резвиться» рада!  
И нацпроекты. и (ура!) – Олимпиада!  
Но снова в голову чужая лезет вша –  
Теперь нас кризисом кусает США.

Все в должниках, банкроты все вокруг –  
За рубль банки продаются вдруг.  
«Своих» под кризис выручить не грех;  
Стабфонд «карманный» явно не для всех!

---

<sup>101</sup> Преемник.

<sup>102</sup> В госсобственности компании.

## ГЛАВА 22. РАО... БРАВО?!

---

Народ же закалённый, что ему дрожать?  
Куда, он точно знает – в «обменники» бежать!  
Кризису прогнозом – всего полгода срок,  
А реприватизации... слышите «свисток»?  
Но всё идёт по плану, пессимист разбит,  
Главный регулятор чудеса творит!<sup>103</sup>  
Мощностью торговля, биржа «на мази»  
(«Маржа» на мегаватте? – боже упаси!).

Инвесторы смелеют – рынок всё вернет...  
Да вот только – кризис, и зима идёт!  
На кого же, РАО, бросило ты нас?  
Мальчик-Минэнерго ходит в первый класс.<sup>104</sup>  
Форма на нём синяя – «Гидро-ОГК»,  
Помощники такие же – двойки им пока!

Три «Партнёрства» рядом, климат деловит.<sup>105</sup>  
Но «сбытам» банкиры не дают кредит.  
Крупные заводы вынесло на мель»;  
Бартер на подходе – старая модель!

Кто же правит балом? – скажите, знатоки?  
(Наверно, сговорились «медведи» и «быки».)<sup>106</sup>  
«Худеет» Казначейство, спекулянт лишь рад,  
Хочет он увидеть Минфина голый зад».   
Где «Приватизатор»? Дельный дай совет.  
«Браво» – всем хватает!.. Заплатят ли за свет?!

Кризису полгода, мир сошёл с ума;  
Тащит, тащит за уши бизнес из дерьма!  
«Что ж это творится? – спросит вас чудак, –  
«Поехал» ради бизнеса – мировой чердак»?

---

<sup>103</sup> НП Совет рынка.

<sup>104</sup> В Минэнерго перешло управление энергетикой.

<sup>105</sup> НП «Совет рынка». НП «Гарантирующие Поставщики», НП «Производители».

<sup>106</sup> Биржевые спекулянты.

## ЧАСТЬ СЕДЬМАЯ. ЖИЗНЬ КАК ОНА ЕСТЬ

---

Был Стабфонд с запасом – наладится житьё;  
С молоком и мясом и своё шмотьё!  
Только в эту смуту бизнес-наркоман  
Завернул запасец, только в свой карман.  
Рублик же, как заяц, – то жирный, то худой,  
Нефть - его капуста... не угадать с ценой.  
«Что же будет дальше? – спросит вас чудак. –  
Россия и поправит мировой бардак?»<sup>107</sup>

Это будет «скоро», но пока – ответ:  
Кризисом прикрывшись, не платят и за свет!  
Банкам господдержка – спасибо, Айболит,  
Но «доктор» энергетикам не даёт кредит!

«Бизнес-генераторы» (в пользу) гнут своё:  
«Строить больше не на что! Привет вам, ё-мое!

А в рыночной водице нечего зевать,  
Киловатт не нужен, чтобы торговать!»  
Трейдеры ростовские нос утёрли всем –  
С долгами миллиардными «кинули» НОРЭМ!<sup>108</sup>

Кризис «дно» нащупал. Ну, держись, банкрот!  
На «Опель» «наши бедные» разевают рот.<sup>109</sup>  
Вложиться в экономику германскую пора.  
Скрепим мы «Ладу»  
с «Оппелем» под русское «ура»!  
Все – на рынок фондовый! Можно не успеть,  
Там Китай «хо-хочет» – всех нас «поиметь»!

А народ в параше, с флажками вдоль дорог  
С надеждой в небо машет;  
«Забыл нас, что ли, Бог?

---

<sup>107</sup> Из заявлений руководства России.

<sup>108</sup> Не оплачена поставщиком поставляемая электроэнергия.

<sup>109</sup> На продажу выставлен банкрот «Опель».

## ГЛАВА 22. РАО... БРАВО?!

---

За свет бы заплатили, не напасёшься дров».  
(Село уж сократили, и нет к нему столбов.)

*«Горбатому» – две тысячи девятому.*

Пора бы и закончить, но я опять не смог.  
Накрыл Россию август – не забывает Бог!  
Кавказ оскалил зубы (шахидский там тротил),  
В Хакасии ГОСБИЗНЕС «Саянку» развалил.  
Хотел на Енисее сойти под дурачка,<sup>110</sup>  
Но сколько ж можно черпать халяву из «сачка»!  
А братский гроб? Причины? Гидроудар – сюжет,  
Теперь «давай тарифы» и – помогай, бюджет!

А бизнес-террористы подальше всех пошлют –<sup>111</sup>  
У них давно отлажен «чубайсов парашют»!  
И вновь на Енисее другой, под «дурачка»,  
А технадзор «проверенный», всё так же – у «сачка»!  
Ну а премьер «схуднувший» – наш право-левый руль:  
Куда еще примчаться, заткнул, чтоб чью-то «дурь»?  
И Президент – «ученый» имеет свой «семестр»;  
АСУ<sup>112</sup> – ТП на лекциях, не сдаст зачёт «оркестр».  
АСУ – по барабану, «оркестру» – интерес:  
Не прозевать бы «ралли» на бирже РТС!<sup>113</sup>  
А тут у них «забава», в ремонте киловатт:  
Подрядчик миллиардный! Кто больше – на откат!  
Где сорок миллиардов?.. Лет через пять, на бис:  
«Не вздумайте, ребята, – плотину «сбросить» вниз!»

Так «пошалило» РАО под «крышей» – «госума»,  
И что осталось?.. «БРАВО»! Да скорая зима!  
Зима-2010. Мужайся, энергет.  
Оглядываться нечего, назад дороги нет!

---

<sup>110</sup> Оборудование работало с нарушениями.

<sup>111</sup> Руководство Русгидро.

<sup>112</sup> Автоматическая система управления.

<sup>113</sup> Ралли – резкий подъем котировок на биржах.

ЧАСТЬ СЕДЬМАЯ.  
ЖИЗНЬ КАК ОНА ЕСТЬ

---

*Многосерийное – кино. Все продумано давно!*

«Русгидро» и «Росатом» – отличный госдуэт,  
Экспортные «танцы» – «имперский их балет».<sup>114</sup>  
Вложиться в «гидроатомный» дешевый киловатт,  
Конечно, за границу... чиновник лично рад.  
Модель же конкурентная! Какой же это миф?  
Отпущен на свободу российский наш тариф!  
Когда от несъедобной подавимся цены.  
По проводам к нам «импорт» погонят «пацаны».  
Им всё одно и то же – набита ведь рука,  
И киловатт «освоится», как «Буш-окорочка»!  
Разрушенные фермы – народный наш облом,  
Пример электростанциям – идти в металлолом.  
И кто теперь «спаситель», на ком теперь вина?  
Не только «РАО – браво», а «браво – вся страна»!

*Август-2010.2011*

Приходит август к августу, к удару – свой удар.  
Горит Москва «болотная» – по всей Руси пожар!  
Проханов Венедиктова к «барьеру» приволок:  
«Нужна мобилизация и сталинский сапог!»  
Лохматое же «Эхо»: «Правые» придут,  
И общество гражданское, и неподкупный суд!»

Каким же – новый август? Увидеть бы во сне.  
Два рейтинга народных гуляют по стране!  
Одни героически сдёрнули «засаленный картуз».  
Другие приглашают «Интеко» в банк «Союз».

Банкирская империя – достойные отцы, –  
Гнездятся в энергетике «голодные птенцы»!  
И новый мэр гадает: к кому текут «ручьи»,  
Китай, Кавказ. Европа, они в Кремле-то... «чьи»?

---

<sup>114</sup> Инвестиции в зарубежную экономику.

## ГЛАВА 22. РАО... БРАВО?!

---

А что имеем в «рознице», какая там цена?  
Прогноз по киловатту «проглотит» вся страна!  
А КОМы, ДПМы... Народу не понять:  
По три рубля сегодня, а через год – по пять!<sup>115</sup>  
Ушел и Черномырдин, наш первый «газ-премьер».  
Как «выправлять» госбизнес – показывал пример.  
Хотелось всё – «как лучше» в те смутные года,  
Хотеть - хотел... А вышло – всё хуже, чем всегда!

По деревням хозяин – «кущёвский фараон»,  
«Манежно-триумфальный» – по городам ОМОН!  
То снова Домодедово, – морозные дожди»...  
На выборы готовятся народные вожди!  
(А где-то под Свердловском воздвигнут монумент;<sup>116</sup>  
Пусть помнят девяностые лихой эксперимент!)

А где же наше БРАВО? Наш главный продавец»?  
Наука – вслед за РАО!.. Нет, это – не конец!

Вчера прошел предвыборный единороссов съезд.  
Не ждали «рокировочки»? Вот это был «заезд»!  
Стране модернизация – народный наш девиз –  
Сибирь (уже китайская)... особенно – на «бис».<sup>117</sup>

---

<sup>115</sup> Торговля мощностью.

<sup>116</sup> Памятник первому Президенту.

<sup>117</sup> Начало 2012 – продолжение следует.



ЧАСТЬ СЕДЬМАЯ.  
ЖИЗНЬ КАК ОНА ЕСТЬ

---

*Пока я жив, пока я здесь,  
И песенка моя не спета,  
Я принимаю всё как есть,  
Без грима и без марафета.*

*Григорий Гозман*

## ГЛАВА 23. ВМЕСТО ЭПИЛОГА<sup>118</sup>

Октябрь дождями по дачным кострам  
Прошелся предзимней проверкой.  
Закончен сезон огородным делам.  
Хозяин доволен бюджетной поддержкой!  
Что дождь за окном?.. По уютным домам  
Народная «путинка» к тостам разлита.  
Скажите, профессор, как дышится вам,  
Научная наша элита?  
Из «дачных» берлог – разве вытащишь вас?  
Учёный наш пафос... он разве утрачен?  
«Россия, вперёд!» – президентский наказ,  
Кому ж, как не вам, предназначен?  
Ну ладно. Чернобыль – не знали азов,  
Там что-то не так «охладилось»,  
Турбина Саянская без «тормозов»  
И без «крышки» в машзале «резвилась»!  
Но всё вам простила родная страна –  
Профессор, не спи, подключайся!  
Зовёт «Нацпроект» – во главе «Рос-НА-НА»!  
(И соло (сало) – опять у Чубайса!)  
Помочь поспеши заболевшей стране.  
Нефтяным она «харкает» «гриппом».

---

<sup>118</sup> В.А. Демьяненко.

В. Демьяненко «Кому нужен покой и уют...» (лирика, энергетика). – Иваново: «Новая Ивановская газета», 2011. – 256 с.

ГЛАВА 22.  
РАО... БРАВО?!

---

Исполнишь заказ, будешь сытым вполне,  
И быть может – с подарочным «джипом»!  
«Нановихретруба» – твой удачный проект,  
Три часа до луны – олигархи в восторге!  
Там и будут они свой хранить «интеллект»  
(Место купят в космическом «морге»!)  
Ну а в первый полёт на билет «гостевой»  
Как всегда, впереди – «сын юриста».  
Но откажет АСУ, и своей головой  
Ты заплатишь за «суперартиста».  
Да, профессор, придется тебе  
Объясняться с «присяжным» народом:  
(А Комиссия скроет, что «стык» на «трубе»  
Был заварен не «нан - электродом» ).  
Ты «вернешься», мы выпьем, а «нанопрорыв»  
Был таким же «распилом» бюджета,  
А «Россия, вперед!» – будет тот же призв  
(Но на это – «вперед»... нам не надо билета!)

*«... Кто шил костюм?  
Претензий к пуговицам нет! ...»  
Из репертуара Аркадия Райкина*

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Автоматизированные информационно-управляющие системы реального времени, к которым относятся автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП) энергоблоков и электростанций, это особый класс территориально-рассредоточенных многообъектных многофункциональных иерархически построенных распределенных систем управления.

Разработка теории этого класса систем управления затрагивает многие известные научные направления в области системного анализа и живучести сложных систем, теории иерархических и многокритериальных систем, теории неравновесной термодинамики и обобщенного термодинамического анализа, развивающихся компьютерных и информационных наук, электронной техники и информационных технологий.

Современные многофункциональные АСУТП энергоблоков и электростанций строятся на базе программно-технических комплексов сетевой иерархической структуры и служат системообразующим оборудованием, которое формирует информационно-технологическую среду контроля и управления процессом. АСУТП позволяют не только повысить безопасность персонала и надежность работы тепломеханического и электротехнического оборудования электростанций и ЭЭС, но и получить экономический эффект за счет автоматизированного ведения и возможности оптимизации режимов его работы.

В целом по существу стоящих проблем, развиваемая в книге методология сквозной технологии создания многофункциональных АСУТП электростанций направлена на то, чтобы

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

---

конечный заказчик (структура, которая должна будет эксплуатировать автоматизированный объект энергетики) получил отлаженную систему управления гарантированной технологической работоспособности, включая:

- средства для обеспечения всережимного управления, диагностирования состояния сложной информационно-управляющей системы в режиме реального времени, надежного ее функционирования, живучести и сопровождения в течение всего жизненного цикла технологического оборудования и системы в целом;

- адекватное математическое, алгоритмическое, техническое и программное обеспечение;

- необходимую и достаточную для эффективной эксплуатации нормативную и рабочую документацию.

Свидетельством достигнутого нормативно необходимого информационно-функционального уровня автоматизации энергоблоков электростанций может служить:

- *для режима рабочих нагрузок*

- обеспечение гарантированной технологической работоспособности фундаментальных<sup>1</sup> систем автоматического регулирования и далее – требований стабилизации частоты в энергосистеме путем нормирования первичного (НПРЧ) и автоматического вторичного регулирования (АВРЧ) активной мощности;

- *для пусковых режимов*

- внедрение логического управления (шаговых программ, программаторов) и сложных пусковых САУ, обеспечивающих автоматизацию наиболее ответственных и наиболее трудоемких пусковых операций из различных тепловых состояний оборудования;

- *для аварийных режимов*

- внедрение автоматической системы аварийной разгрузки блоков с сохранением собственных нужд и блочного уровня противоаварийной автоматики.

2. Проблемными задачами построения территориально-распределенных многофункциональных АСУТП являются:

---

<sup>1</sup> Фундаментальных – лежащих в фундаменте функциональной структуры АСУТП энергетического объекта.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

---

- задача синтеза адекватной функционально-алгоритмической структуры АСУТП, согласованной по функциональным зонам технологического объекта;

- задача синтеза адекватной технической структуры ПТК по заданной информационно-функциональной структуре АСУТП технологического объекта;

- задача интеграции в базовый ПТК и АСУТП локальных систем управления, комплектно поставляемого технологического оборудования.

Задача синтеза функционально-алгоритмической и технических структур ПТК и АСУТП решается, как правило, на основе практического опыта фирмы поставщика ПТК. И, хорошо, если эта фирма состоятельна взять на себя ответственность не только за поставку серийного проектно комплектуемого ПТК, но и за АСУТП автоматизированного энергетического объекта в целом и ее сопровождение. И, плохо, если «за костюм» никто не отвечает (а «претензий к пуговицам нет»).

Задача интеграции локальных АСУ может иметь определенное решение на начальной стадии проектирования на этапе формирования технических требований и условий поставки до заключения основных контрактов. Поэтому технология организации и проведения конкурсов по выбору поставщика ПТК и генерального конструктора АСУТП оказывается весьма значимой как в техническом, так и временном аспектах.

Решение по результатам конкурса по выбору поставщика базового ПТК и АСУТП должно приниматься не только по формальным стоимостным критериям (как это принято в практике сегодняшнего дня), а с обязательным рассмотрением и учётом всех позиций технического аудита декларируемых поставщиком возможностей своего изделия. При этом экспертная оценка специалистов по составу типовых подсистем, возможности интеграции локальных АСУ в общую системообразующую многофункциональную структуру АСУТП имеет принципиальное значение.

Недостаточно обоснованный рыночный выбор технических средств автоматизации приводит в большинстве случаев к дополнительным трудностям на стадии эксплуатации сложной технической системы и существенным затратам по ее сопровождению.

Для исключения принципиальных технических ошибок при выборе ПТК АСУТП в книге изложена технология (схема действий) защиты технических интересов конечного заказчика от недобросовестного поставщика на основе многокритериальной тендерной процедуры, независимой научно-технической экспертизы и технического аудита декларируемых технико-коммерческих предложений.

3. На центральных стадиях технологии сквозного проектирования (функциональное, конструкторское и технологическое проектирование) в качестве главного направления развития многофункциональных АСУТП рассматриваются инновационные наукоемкие функциональные задачи, обеспечивающие эффективность и конкурентоспособность системы управления.

В настоящей книге предпочтение отдается развитию методов теории и практики обобщенного термодинамического анализа и неравновесной термодинамики (феноменологический подход) в направлении обоснования информационного масштаба системы и построения высокоточных математических моделей объектов, способов адаптивного управления с эталонными моделями, шаговых алгоритмов управления нестационарными режимами, нечеткой логики при работе с размытыми параметрами.

Задачи синтеза адекватных функциональному наполнению технических структур управляющего объекта связывается с расширением использования новых информационно-управляющих систем с встроенными распределенными высокопроизводительными вычислительными кластерами. Такие разработки позволят продвинуться в направлении синтеза интеллектуальных многокритериальных функций АСУТП с эталонными математическими моделями технологического оборудования.

Трансформация функционального аспекта описаний системы управления в рабочую документацию – особый процесс, требующий использования инструментальных средств поддержки сквозной технологии проектирования (САПР АСУТП).

Одним из основных требований, предъявляемых к модели проекта АСУТП – это возможность использования разработанного программного продукта, во-первых, на стадии создания необходимых рабочих документов, обеспечивающих выполнение и

сопровождение монтажных и пуско-наладочных работ и, во-вторых, – на стадии штатной эксплуатации сложного автоматизированного оборудования в течение всего жизненного цикла технологического объекта и его систем управления. При этом эффективным средством оценки уровня САПР АСУТП и качества выпускаемой рабочей документации может служить процедура синтеза информационно-функциональных структур АСУТП, доведенных до, так называемых, сквозных «развернутых схем», широко применяемых в пуско-наладочной практике.

Ввод в действие АСУТП связан с высоким уровнем рисков повреждения технологического оборудования. Поэтому все сложные системы управления требуют тщательной отработки, многорежимного тестирования и предварительной аттестации в режиме реального времени.

Современным средством анализа и тестирования в режиме реального времени сложных алгоритмов систем управления (технический аудит декларированных алгоритмов) служат многоцелевые Полигоны.

Полигоны представляют собой наукоемкие элементы новой технологии класса АСНИ, которые на программно-техническом уровне обеспечивают поддержку технологического процесса создания и экспертного анализа функций АСУТП.

4. Качественный эффект в управлении функционированием энергетического оборудования как сложных объектов ЭЭС может быть обеспечен путем снижения влияния человеческого фактора в управлении и минимизации ошибок при принятии оперативных управленческих решений в режиме реального времени. Минимизация потерь и рисков здесь видится как на пути совершенствования информационно-функционального и алгоритмического обеспечения управления сложной системы, так и, в том числе, на пути поддержания адекватной профессиональной подготовки специалистов (инженеров, инженерно-ориентированных магистров, кандидатов и докторов наук). Важно при этом заметить, что только грамотные технические решения могут обеспечить гарантированную технологическую работоспособность системы, ее многокритериальную технико-экономическую эффективность и иметь необходимую юридическую защиту.

5. Жизнь не стоит на месте, и пока идеи и технические решения воплощаются в реальный автоматизированный объект энергетики, изменяются условия эксплуатации, общесистемные требования и т. д.

Основные проблемы энергетической отрасли в условиях, когда организационная структура электроэнергетики, сформированная в результате проведенных реформ, не совпадает с территориально рассредоточенной технологической структурой ЕЭС России, *связаны, прежде всего, с нарушением фундаментального свойства целостности большой системы*, и, как следствие, отсутствием цивилизованного рынка электроэнергии и теплоты, адекватной структуры управления электроэнергетикой в целом.

«Модели» отечественного рынка в электроэнергетике не решают задачи обеспечения условий развития современной энергозависимой цивилизации и энергетической безопасности страны. Концептуальная несостоятельность юридических и экономических подходов в электроэнергетических комплексах связана с разделением единой физико-технической системы на части, каждая из которых имеет собственные разнонаправленные критерии достижения прибыли. При этом *граница ответственности государства в обеспечении условий существования современной энергозависимой цивилизации и энергетической безопасности страны оказывается весьма размытой*.

Все это создает дополнительные трудности соблюдения технологической дисциплины при создании системообразующих многофункциональных АСУТП и последующей эксплуатации автоматизированных энергетических объектов.

Изданием настоящей монографии предпринята попытка (первая в современных условиях состояния электроэнергетики) многофакторного анализа особенностей современных территориально-распределенных многофункциональных АСУТП энергоблоков и электростанций, решения проблем и задач теории и технологии их сквозного проектирования.



Научное издание

Под общей редакцией  
Ю.С. Тверского

Теория и технология систем управления.  
Многофункциональные АСУТП  
тепловых электростанций

В трех книгах

Книга 3  
Моделирование

Редактор Н.Б. Михалева

Подписано в печать \_\_\_\_\_. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Печать плоская. Усл. печ. л. 12,09. Уч.-изд. л. 12,2.

Тираж 100 экз. Заказ № \_\_\_\_

ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический  
университет имени В.И. Ленина».

153003, г. Иваново, ул. Рабфаковская, 34.

Отпечатано в ИПК «ПресСто».

153025, г. Иваново, ул. Дзержинского, 39.

## Список соавторов<sup>1</sup>

**Демьяненко Владимир Александрович** (гл. 22, 23)

ОАО «ЦФР» (г. Москва), начальник Департамента по урегулированию задолженностей на оптовом рынке электроэнергии и мощности

**Голубев Антон Владимирович** (п.п. 20.1-20.3)

ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И.Ленина», заведующий кафедрой систем управления, кандидат технических наук, доцент

**Копсов Анатолий Яковлевич** (п.п. 18.3, 18.4, 21.4)

ООО «Инженерный центр – Газотурбинные технологии», президент, профессор кафедры ТЭС ИГЭУ, доктор технических наук

**Никоноров Андрей Николаевич** (п.п. 20.1-20.4, 21.1-21.3)

ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И.Ленина», доцента кафедры систем управления, кандидат технических наук

**Новиков Станислав Иванович** (п.п. 19.4)

ФГБОУВПО «Новосибирский государственный технический университет–НЭТИ», доцент кафедры ТЭС, кандидат технических наук, доцент

**Рубашкин Александр Самуилович** (п.п. 19.1-19.3, 19.5, 19.6)

ЗАО «Тренажеры для электростанций», генеральный директор, доктор технических наук

**Тверской Юрий Семенович** (п.п. 18.1-18.5, 19.1, 19.2, 20.1-20.5, 21.1-21.5, заключение, общая научная редакция книги)

ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И.Ленина», профессор кафедры систем управления, начальник Учебно-научного центра «АСУТП в энергетике», доктор технических наук, профессор

---

<sup>1</sup> Указаны параграфы глав монографии, в которые включены материалы, подготовленные при участии соавторов.

УИУНЛ ИГЭУ