

На правах рукописи

ТУРКИН Михаил Сергеевич

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ**

Специальность 05 13.12. Системы автоматизации проектирования  
(промышленность)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук.

**Санкт-Петербург**

**2001**

Работа выполнена в Институте Инноватики Санкт-Петербургского Государственного Технического Университета.

Научный руководитель	доктор технических наук, профессор И.Л. Туккель
Официальные оппоненты	доктор технических наук, профессор Г.И. Прокофьев, кандидат технических наук, В.А. Третьяков
Ведущая организация	Ассоциация центров инжиниринга и автоматизации

Защита состоится 19 декабря в 16 часов на заседании диссертационного совета D212.229.21 при Санкт-Петербургском Государственном Техническом Университете по адресу: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул. 29, Главное здание, ауд. \_\_\_\_\_

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке Санкт-Петербургского Государственного Технического Университета.

Автореферат разослан “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2001г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Л.В. Черненькая

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность проблемы.** Современный этап развития промышленных энергетических комплексов характеризуется переходом к использованию передовой технологии, стремлением добиться предельно высоких эксплуатационных характеристик как действующего, так и проектируемого оборудования, необходимостью свести к минимуму любые производственные потери. Все это возможно только при условии существенного повышения качества управления объектами энергетики, в том числе путем широкого применения автоматизированных систем. В то же время качество таких систем должно отвечать все более возрастающим потребностям предприятий-пользователей. Это возможно только при условии применения специализированных систем автоматизированного проектирования средств управления. Актуальность проблемы, таким образом, состоит в необходимости развития и исследования автоматизированного проектирования систем управления, отвечающих требованиям современных энергетических объектов.

**Цель работы** – создание системы проектирования АСУ объектами энергетики с проработкой алгоритмов реализации каждого модуля системы с учетом проведенного сравнительного анализа существующих технологий и выявленных недостатков, с выработкой технологии использования системы проектирования для создания и модификации АСУ различной структуры, как вновь созданной, так и уже существующей.

**Новые научные результаты.** Новыми научными результатами, полученными в ходе исследований, являются:

- разработка принципов, определение основных задач и путей их решения для построения специализированной системы автоматизированного проектирования систем управления объектами энергетики с учетом существующих технологий и недостатков, а также с учетом необходимости использования системы проектирования для создания и модификации как уже существующих систем управления, так и вновь созданных;
- построение математической модели процесса проектирования автоматизированных систем управления, ее анализ и разработка алгоритмов ее реализации;
- разработка принципов открытости системы проектирования, позволяющих реализовать автоматизированные системы управления различными агрегатами в составе энергетических комплексов;

- разработка алгоритмов построения системы проектирования, анализ разработанных алгоритмов;
- разработка принципа «встроенности» системы проектирования в систему управления, т.е. система проектирования должна являться частью системы управления, и в процессе эксплуатации объекта управления должна использоваться для корректировки и модернизации как алгоритма управления так и системы управления в целом;
- разработка алгоритмов построения модели объекта управления для последующей отладки и тестирования;
- разработка методики проведения экспериментов по проверке созданной системы проектирования.

**Практическая ценность** исследований и разработок заключается в создании технологии построения систем проектирования АСУ различными объектами энергетики, а также в построении реально действующей системы автоматизированного проектирования систем управления промышленными энергетическими комплексами.

**Достоверность результатов работы** основывается:

- на корректности построенной математической модели процесса проектирования и использования математического аппарата теории графов;
- на полноте учета факторов, определяющих эффективное проведение проектирования;
- на согласованности полученных результатов с результатами, полученными другими авторами;
- на проведении экспериментов по проверке реализованных алгоритмов путем тестирования созданной системы проектирования в машинном варианте и на рабочем стенде;
- на опыте создания и практического внедрения системы проектирования на промышленных объектах управления.

**Реализация результатов** исследования и разработок заключается в использовании разработанной технологии для построения системы проектирования систем управления объектами энергетики, а также во внедрении созданной системы проектирования на различных объектах энергетики.

**Апробация и внедрение.** Система проектирования создана на основе разработок предприятия ООО «Автонит» и позволяет разрабатывать системы управле-

ния различными агрегатами в составе энергетического комплекса. Использование системы проектирования производится в разработках предприятия ООО «Автонит» при создании программно-технических комплексов автоматизации управления газотурбинных электростанций, а также внедрение системы проектирования происходит на трех различных объектах: ГТЭС ПО «Нафтан» г. Новополоцк, Республика Беларусь (2 газотурбинные установки 20СТ55, 2 паровых котла, общестанционное оборудование) – система проектирования используется для модернизации уже созданного алгоритма управления и создания новых алгоритмов управления; ГТЭС-3 г. Салехард (2 газотурбинные установки на базе двигателя ДЦ-59Л, общестанционные системы, подстанция 6/36 кВ) – системы проектирования используется для коррекции и модернизации созданного ей же алгоритма управления; Ингушская ГТЭС (4 энерго модуля на базе двигателя ДЖ-59, общестанционные системы) – система проектирования используется для модернизации уже созданного алгоритма управления.

**Публикации.** По теме диссертации опубликованы четыре научные работы.

**Структура и объем.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 67 наименований, выполнена на 134 листах машинописного текста, содержит 22 рисунка.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**В первой главе** «Обзор систем автоматизации управления и проектирования. Постановка задачи исследования» осуществляется обзор текущего состояния предмета исследований (системы автоматизации проектирования) и объекта управления (промышленные энергетические объекты). Приводятся основные характеристики объекта управления и системы управления, наиболее значимые при создании алгоритма управления. Так при создании одного программно-технического комплекса необходимо обработка следующего массива сигналов:

- количество унифицированных сигналов (0-5,0-10В, 0-5,0-20,4-20мА) – 256;
- количество двухпозиционных сигналов – 576;
- количество сигналов от датчиков оборотов – 4;
- количество сигналов от частотных и число-импульсных датчиков – 8;
- количество команд управления в виде замыкающих контактов – 200;

Кроме того, при создании алгоритма управления используются дополнительные массивы входных сигналов: пороги выработки сигналов аварии (количеством до 1024), пороги выработки сигналов предупреждения (количеством до 1024), пороги выработки сигналов предупреждения (количеством до 1024).

вом до 1024), сигналы настройки (количеством до 255), расчетные сигналы (количеством до 255). И дополнительные массивы выходных сигналов: сигналы аварии (количеством до 512), сигналы предупреждений (количеством до 512), сигналы режимов управления (количеством до 1024). В целом же система управления состоит из нескольких программно-технических комплексов (от 1 до 10), и алгоритм управления соответственно должен обрабатывать общее количество сигналов.

Далее рассматривается общая структурная схема АСУ технологических объектов, функциональная и техническая структуры АСУ энергетических объектов.

Затем производится анализ существующих систем управления и проектирования с выявлением достоинств и недостатков. Обзор предваряет краткая характеристика состояния российского рынка систем автоматизации и проектирования.

Далее определяются основные тенденции создания и развития систем автоматизации и проектирования. И на основе проведенного анализа существующих систем определяется круг основных проблем, возникающих при создании систем проектирования:

- большинство из существующих технологий имеют такой сильный недостаток, как узкая специализация. Т.е. созданные по этим технологиям программные продукты ориентированы на проектирование систем для конкретной предметной области;
- кроме того, основная часть существующих программных продуктов для проектирования АСУ являются составной частью своих АСУ и неприменимы для создания АСУ другой структуры;
- существующие так называемые «универсальные» программные продукты во-первых, сложны для использования с точки зрения оператора-алгоритмиста, во-вторых имеют недостатки, связанные с их системной реализацией (ограничение по оперативной памяти, количеству и набору элементарных элементов и т.п.), и, в-третьих, дороги;
- кроме того, универсальность подобных продуктов обеспечивается специализированными средствами, использование которых требует дополнительной квалификации обслуживающего персонала.

Таким образом, можно сделать вывод о неприемлемости использования существующих технологий создания систем проектирования и о необходимости определения собственной методики. Далее формулируется главная цель исследования процесса создания систем проектирования - *создание системы проектирова-*

ния АСУ объектами энергетики с проработкой алгоритмов реализации каждого модуля системы с учетом проведенного сравнительного анализа существующих технологий и выявленных недостатков, с выработкой технологии использования системы проектирования для создания и модификации АСУ различной структуры, как вновь созданной, так и уже существующей. Определяется круг задач, решение которых необходимо для достижения данной цели исследований:

- обеспечение использования системы проектирования операторами-алгоритмистами без необходимости приобретения дополнительной квалификации и с максимально удобным интерфейсом пользователя;
- обеспечение открытости системы проектирования без применения специализированных программных средств, т.е. обеспечение настраиваемости системы;
- обеспечение возможности наращивания системы проектирования с возможностью максимально быстрого добавления новых функций, новых библиотек элементов и т.п., т.е. обеспечение развиваемости системы;
- обеспечение эффективного использования системных ресурсов без необходимости их увеличения;
- обеспечение механизмов отладки и тестирования системы проектирования до использования созданной АСУ на объекте управления;
- снижение затрат для обеспечения минимальной цены системы проектирования, для получения высокого экономического эффекта от ее применения.

Основным результатом выполнения данных задач является разработка соответствующих алгоритмов реализации каждой задачи отдельно и всех задач в комплексе.

В заключение главы определяется ряд практических задач, которые необходимо решить для создания системы проектирования.

1. Удобный и понятный интерфейс пользователя.
2. Открытость системы – возможность добавления и настроек на определенного пользователя.
3. Полную совместимость с АСУ (полученная модель должна прямо интегрироваться в существующий механизм АСУ).
4. Возможность отладки в режиме реального времени с подключением внешних каналов получения информации в произвольном масштабе времени.

5. Использование современных механизмов СУБД (SQL-сервер, Oracle и т.п.) для получения и хранения данных, а также иметь возможность использования файлового хранения информации на жестком диске без использования СУБД.
6. Оптимизация создаваемых алгоритмов для обеспечения приемлемой цены системы проектирования, дающей высокий экономический эффект от ее применения.

**Во второй главе** «Создание системы проектирования. Теория и основные алгоритмы» определяются пути решения поставленных задач, путем реализации следующих основных идей:

1. Использование развитых механизмов ОС Windows95/NT для достижения высокой производительности. 32-битовый код данных ОС обеспечивает также высокую степень надежности и отказоустойчивости.
2. Использование графического интерфейса, являющегося наиболее удобным средством общения пользователя с программным обеспечением.
3. Использование настроечных файлов и системного реестра Windows для обеспечения открытости системы.
4. Использование технологии клиент-сервер для взаимодействия между создаваемой моделью АСУ и моделью объекта для возможности отладки в режиме замкнутого моделирования.
5. Использование механизма BDE для организации взаимодействия с СУБД.

Далее определяются функции будущей системы проектирования, основными из которых являются:

- главная и основная функция системы проектирования – собственно создание алгоритма функционирования АСУ. Поскольку основной способ представления такого алгоритма есть логическая схема, состоящая из элементарных элементов, то система проектирования должна обеспечивать механизм создания такой схемы. Данная функция в том или ином виде существует у всех известных САПР-систем;
- для успешного функционирования созданной АСУ, необходимо также, чтобы система проектирования обеспечивала возможность проверки алгоритма работы АСУ непосредственно в процессе его создания. Таким образом, система проектирования должна обеспечивать возможность отладки



созданного алгоритма для проверки внутренней схемы алгоритма. Данная функция присутствует у большинства существующих систем;

- для того чтобы АСУ правильно взаимодействовала с объектом управления, необходимо иметь возможность в системе проектирования создавать модели различных объектов управления для последующего исследования совместного функционирования АСУ и объекта управления. Кроме того, необходима также возможность отдельной отладки создаваемой модели объекта управления. Данная функция является новой для САПР-систем и не применяется ни в одной известной системе;
- для обеспечения точного и правильного управления реальным объектом система проектирования АСУ должна обеспечивать возможность отладки совместного функционирования АСУ и модели объекта управления в режиме так называемого «замкнутого моделирования», при котором выходы АСУ замыкаются на входы модели объекта управления и наоборот. В данном режиме происходит проверка не только внутренней схемы алгоритма АСУ, но и правильность его взаимодействия с объектом управления. Отладка алгоритма с моделью объекта управления является новой функцией для САПР-систем;
- необходимо также иметь инструмент модернизации и внесения изменений в созданный алгоритм функционирования АСУ по результатам всех отладок. Данной функцией обладают все системы, имеющие в своем составе модуль отладки;
- кроме того, система проектирования должна обеспечивать создание управляющей программы на основе созданного алгоритма, которая загружается в память компьютера и обеспечивает выполнения разработанного алгоритма управления. Данная функция в том или ином виде присутствует во всех известных САПР-системах.

Затем на основе необходимых функций системы проектирования определяется ее структура, представляющая собой совокупность независимых модулей, выполняющих те или иные функции и связанных между собой специальным модулем – ядром системы:

- модуль построения схемы алгоритма управления или модели объекта управления. Реализует функцию непосредственного построения схемы, т.е. выполняет роль редактора по вводу схем. Имеет в своем составе все средства, необходимые для эффективного редактирования графических схем;

- модуль синтаксической проверки построенных схем. Реализует проверку «синтаксиса» построенной схемы. Критерии проверки известны заранее и определяются спецификой построения схем алгоритмов для энергетических объектов;
- модуль тестирования построенных схем. Реализует тестирование построенных схем на предмет нахождения ошибок непосредственного функционирования, так называемых лексических ошибок, т.е. реализует процесс отладки построенных схем – режим моделирования. Возможны два варианта режима: «разомкнутое» моделирование, при котором входные сигналы задаются вручную и происходит контроль правильности самой схемы, и «замкнутое» моделирование, при котором производится отладка взаимодействия модели объекта управления и алгоритма системы управления данным объектом. При этом выходы системы управления замыкаются на входы модели объекта управления и наоборот. В данном режиме происходит отладка не только функционирования отдельных схем, но и их взаимодействие. Контроль осуществляется через множество контрольных точек, заданных произвольным образом, информация о прохождении сигнала в которых отображается в виде графиков, диаграмм и индикации значений;
- модуль создания управляющей программы. Реализует функцию создания специфического файла с алгоритмом работы системы управления, записанного специальным образом;
- модуль дополнительных функций. Реализует дополнительные сервисные функции системы. Имеет в своем составе модуль генерации документации, модуль печати и пр.;
- модуль – ядро системы. Реализует системные функции, необходимые для работы системы проектирования (функции взаимодействия с операционной системой, функции взаимодействия с оперативной памятью и т.п.). Кроме того, осуществляет обмен информацией между различными модулями.

Затем строится математическая модель процесса работы системы проектирования в виде ориентированного графа, т.к. с точки зрения структур данных алгоритм управления можно представить именно как ориентированный граф с петлями (возможно, с циклами - обратными связями в соединении элементов; петли - их частный случай), в вершинах которого находятся элементарные элементы, а

ребра соответствуют межэлементным связям. В памяти указанный ориентированный граф представлен списком ребер.

Схему алгоритма логического управления можно представить как конечный автомат с памятью, функция перехода которого задана схемой, а состояние входного устройства - булевым вектором входных сигналов.

В процессе вычислений для каждого элемента определяется его булево значение, называемое *значением элемента*. Если  $e=(v,u) \in A$ , то *значение входа*  $e$  элемента  $v$  - это значение элемента  $u$ .

$S_{In} \subset V$  - множество входных вершин (входов), задающих входное воздействие:  $S_{In} = \{v_i \in V \mid d^-(v_i) = 0\}^*$

$S_{Out} \subset V$  - множество выходных вершин (выходов), его вычисление всех его элементов приводит к окончанию вычислений:  $S_{Out} = \{v_i \in V \mid d^+(v_i) = 0\}^*$

$f_i$  - элементарные функции (И, ИЛИ, Триггер и т.д.); набор элементарных функций определяет набор стандартных элементов

$$f_i: \{\{0,1\}^n \times N \times P\} \rightarrow \{\{0,1\} \times P\}, \text{ где}$$

$$n = d^-(v_i) - \text{количество входов элемента}$$

$$\{P\} - \text{множество внутренних состояний элемента}$$

$$f_i: (x_1, x_2, \dots, x_n, t, p_{t-1}) \rightarrow (y_i, p_t), \text{ где:}$$

$$x_i \quad - \text{значение входных сигналов элемента}$$

$$t \quad - \text{дискретное (тактовое) время}$$

$p_{t-1}, p_t$  - внутреннее состояние элемента в моменты времени  $t-1$  и  $t$  соответственно

Вычисление элементарных элементов не представляет труда, но для определения вектора выходных сигналов (по заданным входному и текущему внутреннему состоянию системы) необходимо определить порядок их вычислений. Проблема "наведения порядка" является одной из центральных проблем математических исследований данной работы.

Далее определяются основные алгоритмы его исследования и обработки, главным из которых является алгоритм «наведения порядка», т.е. алгоритм определения порядка вычисления элементарных элементов, основанный на построении равноранговых множеств. Идея алгоритма состоит в использовании рекур-

---

\*  $d^-(v)$  и  $d^+(v)$  - множества выхода и входа соответственно

сивного определения ранга - ранг вершины на единицу больше максимального ранга ее сыновей.

Алгоритм последовательно просматривает все вершины графа от выходов к входам, выделяя все обратные входы каждой из них и определяя ранги в получаемом подграфе. А именно, процедура рекурсивно обходит граф, начиная от выходов к входам. Приходя в вершину, она рекурсивно вызывается от родителя вершины по каждому входу. Если затем в процессе обхода та же вершина встретится еще раз, то это значит, что обнаружен цикл, причем вход, по которому пришли в элемент второй раз, является обратным. Рекурсия заканчивается при достижении входов или при обнаружении цикла.

При достижении входов глобальная переменная Rank устанавливается в 0 и затем, при выходе из рекурсии, последовательно инкрементируется. Если (на обратном пути) достигнута вершина, у которой текущий ранг меньше Rank, то это значит, что существует другой путь от входов большей длины и ранг элемента устанавливается в Rank.

Если на прямом пути достигнута вершина, ранг которой уже определен, то в Rank записывается значение ранга достигнутой вершины.

Затем производится анализ возможности использования инновационных подходов для решения задачи создания и внедрения системы проектирования АСУ объектами энергетики.

**В третьей главе** «Разработка и исследование ПО» исследуется программное обеспечение, реализующее основные теоретические разработки. Определяется структура пакета прикладных программ, реализующего систему проектирования, производится характеристика основных функциональных частей пакета:

1. *Редактор*. Первым этапом в создании схемы логического управления является ее задание в виде набора логических и специальных элементов, соединенных между собой связями. Т.о. *Редактор* должен осуществлять следующие основные функции:

- задание элементов на схеме;
- задание связей между ними;
- задание комментариев;
- навигация в пределах листа;
- навигация в пределах схемы.

Кроме осуществления указанных выше функций, *Редактор* интегрирует все остальные части системы, организует большую часть пользовательского интерфейса и выполняет такие сервисные функции, как поиск элементов, поиск сегментов связи и др.

Графическое задание схемы проектируемой АСУ подобно рисованию ее на бумаге, поэтому полученная в результате такого задания схема представляется, прежде всего, как рисунок-картинка, что обеспечивает наглядность представления схемы проектируемой АСУ. Однако одновременно с процессом рисования *Редактор* создает внутреннюю структуру схемы, в которой каждый элемент и каждый сегмент связи представляются в виде отдельного объекта, что обеспечивает возможность перемещения их по листам схемы, поиск, редактирование и прочие необходимые функции

## 2. Верификатор.

После создания схемы необходимо проверить «синтаксис» схемы, т.е. проверить схему на предмет обнаружения ошибок, наличие которых не позволяет однозначно создать алгоритм работы создаваемой АСУ. Правила, по которым происходит проверка схемы, задаются жестко при создании системы проектирования и обусловлены, во-первых, спецификой предметной области и, во-вторых, спецификой графического представления схемы алгоритма.

Процесс верификации разбивается на следующие этапы:

- проверка на отсутствие "висячих" связей - происходит просмотр карты листа и определение связей, которые не завершаются на входах/выходах элементов;
- для каждого элемента проверяется, что его входы соединены с выходами других элементов, причем выполняется ограничение  $1 \rightarrow N$  на отношение соединения выхода с входами и  $1 \rightarrow 1$  на соединение входа с выходами;

Данное построение связей гарантирует, что:

- на листе не имеется неправильных связей;
- все элементы листа имеют (правильно) соединенные входы/выходы.

Следующим этапом верификации является фиксирование "дальних" связей (через внутренние сигналы). Одновременно с этим проверяются имена сигналов и подготавливаются структуры для выделения обратных связей. Последняя операция необходима для того, чтобы устранить циклы в графе зависимостей элементов и определить порядок их вычисления.

### 3. *Отладчик.*

*Отладчик* является важнейшей частью системы. Как и любые другие программы, схемы алгоритмов содержат ошибки, которые необходимо своевременно обнаруживать и устранять. Отметим также, что система SDTS разрабатывается для проектирования алгоритмов, применяемых для управления устройствами промышленных энергетических комплексов. Поэтому "степень надежности" создаваемых алгоритмов должна быть крайне высокой - ошибки проектирования чреваты весьма серьезными последствиями. Поэтому, даже если сама система работает надежно, то проектируемые с ее помощью алгоритмы не защищены от ошибок. Удобным средством проверки правильности схем алгоритмов является *Отладчик*.

Основными операциями, выполняемыми *Отладчиком*, являются:

- выполнение вычислений согласно построенной модели;
- задание значений входов;
- показ состояний входов/выходов элементов (точки наблюдения);
- запись значений указанных входов/выходов элементов за определенное время и построение графиков (точки записи);
- вычисление до выполнения указанного условия (точки останова) или истечения определенного интервала времени.

Отметим, что данные операции весьма напоминают средства отладки в современных интегрированных системах программирования.

*Отладчик* SDTS позволяет производить вычисления в реальном времени. Кроме того, поддерживается режим "виртуального времени", при котором вычисления производятся настолько быстро, насколько это возможно. Последний режим позволяет существенно сократить время процесса моделирования. Т.к. на схеме имеются элементы "задержки", которые могут срабатывать через значительные интервалы времени, "ускорение времени" упрощает отладку.

*Отладчик* SDTS может работать в двух основных режимах, отличающихся по способу заполнения входных массивов и использования информации, полученной в выходных массивах.

1. "Незамкнутое внутреннее моделирование". В этом режиме отладчик выполняет вычисления, используя в качестве входных сигналов значения, заданные алгоритмистом перед отладкой. Выходные массивы просто вычисляются, но данные никак не используются. Отметим, что заданные значения входных сигналов являются одним из постоянных атрибутов

элементов, которые записываются на диск при записи схемы. Это позволяет избежать значительной работы по заданию входных сигналов каждый раз при отладке, т.к. можно использовать значения, оставшиеся после предыдущего сеанса работы.

2. "Замкнутое внутреннее моделирование". Существенным недостатком режима незамкнутого моделирования является сложность отладки с учетом реакции системы на воздействия. Действительно, для многих выдаваемых выходных воздействий в алгоритме предусмотрены процедуры контроля их выполнения. Т.е. при работе алгоритма с физической аппаратурой после выдачи определенных выходных сигналов ожидается появление через некоторое время некоторых входных сигналов, в соответствии с которыми алгоритм выполняет те или иные действия (например, переходит в режим блокировки аварии). Подобные "обратные связи" удобно промоделировать с использованием самой системы и без дорогостоящей аппаратуры (с которой к тому же рискованно работать с недоотлаженным алгоритмом). Для реализации данной функции предусмотрены следующие действия: сначала создается алгоритм управления, затем отдельно от него создается модель объекта управления, причем используются те же функции и приемы, что и при создании основного алгоритма, что позволяет унифицировать процедуру создания схем. Кроме того, такая унифицированность позволяет отладить созданную модель объекта управления в режиме незамкнутого моделирования, что позволит создать модель точно соответствующую поведению реального объекта. Далее на этапе задания параметров моделирования необходимая модель «подгружается» к своему алгоритму и происходит замыкание выходов модели на входы алгоритма и наоборот. Причем для алгоритмиста предоставляется свобода действия, т.е. он может для одного и того же алгоритма «подгружать» различные модели и для одной и той же модели использовать различные алгоритмы, что обеспечивает наибольшую универсальность отладчика.

Созданная модель позволяет промоделировать достаточно сложное поведение физического объекта и перенаправить его выходные сигналы в алгоритм. Отметим, что модель можно написать лишь один раз (для аппаратуры одного типа) и в дальнейшем использовать в качестве библиотеки.

#### 4. Генератор отчетов.

*Генератор отчетов* - не самая сложная, но часто и эффективно используемая подсистема SDTS. К реализованным базовым операциям относятся:

- поиск сигналов по имени/диапазону имен/типу/комментариям к сигналу;
- замена имен сигналов (по имени/диапазону имен/типу);
- генерация краткого (чернового) и полного (для подготовки проектной документации) отчета по специфицированному множеству сигналов (в т.ч. по всем сигналам, присутствующим в алгоритме);
- распечатка отдельных листов и всего алгоритма.

Особенностью системы является возможность "активной" работы с комментариями к сигналам - комментарии являются отдельными объектами, в связи с чем возможно производить по ним поиск и добавлять в отчеты. Данный подход не реализован ни в одной из известных систем, хотя, например, для подготовки документации необходимо иметь отчет с комментариями по сигналам и если он не подготавливается автоматически, то по каждому из тысяч сигналов необходимо написать сопроводительный текст, что является весьма длительной и рутинной работой.

Затем дается краткая характеристика интерфейса пользователя, оформленного при помощи многооконного интерфейса (каждому функциональному действию соответствует свое окно или «форма»), где основными являются два окна – окно редактирования схемы управления и окно управления общим ходом работы.

Далее производится анализ машинного эксперимента по использованию и тестированию созданной системы проектирования для конкретного объекта управления, который состоит из следующих основных этапов:

- создание модели объекта управления в виде схемы его работы;
- отладка созданной модели («разомкнутое моделирование») для обеспечения ее соответствия реальному поведению объекта;
- создание алгоритма управления объектом в виде принципиальной схемы работы системы управления;
- отладка созданного алгоритма («разомкнутое моделирование») для обеспечения точности управления, соответственно технологическому заданию на управление;
- совместная отладка алгоритма управления и модели объекта управления («замкнутое моделирование») для обеспечения правильности взаимодейст-



вия системы управления и управляемого объекта и точности управления, соответственно технологическому заданию на управление;

- компилирование полученной принципиальной схемы в код, загружаемый в макет операторской станции управления основным модулем электростанции для получения «реальных» результатов работы созданного алгоритма управления.

Рассматривается подробнее каждый из этапов:

1. Создание модели объекта управления производится при помощи графического редактора, интегрированного в пакет, и согласно технологическому описанию функциональной структуры и поведения данного конкретного объекта.
2. Отладка в режиме «разомкнутого моделирования» производится путем задания произвольных значений входных сигналов и исследования прохождения этих сигналов через все элементы от входных элементов до выходных. Контроль осуществляется через индикацию значения сигналов в каждой контрольной точке и вывод графиков аналоговых сигналов и гистограмм дискретных сигналов в соответствующее окно просмотра графиков. Данный режим обеспечивает контроль правильности внутренней структуры модели объекта.
3. Создание алгоритма управления производится при помощи графического редактора, интегрированного в пакет, и согласно технологическому заданию на управление конкретного объекта.
4. Отладка алгоритма управления в режиме «разомкнутого моделирования» производится аналогично отладке модели объекта управления.
5. «Замкнутое моделирование» позволяет, во-первых, еще раз уточнить внутреннюю структуру, как алгоритма управления, так и модели объекта управления, и, во-вторых, смоделировать взаимодействие «система управления ↔ управляемый объект» для отладки этого взаимодействия. На выходе данного этапа формируется отлаженный и проверенный алгоритм системы управления.
6. Далее созданный алгоритм, который все еще представлен в виде схемы функционирования, преобразуется в машинный код для загрузки в соответствующий модуль системы управления. Данный код загружается в макет операторской станции управления основным модулем электро-

станции для получения «реальных» результатов работы созданного алгоритма управления.

Затем анализируются результаты эксперимента, приводятся найденные ошибки и неточности системы проектирования и производится анализ путей модификации системы проектирования по результатам машинного эксперимента.

**Четвертая глава** «Экспериментальные разработки» посвящена практическому использованию созданной системы проектирования. В ней представлен эксперимент по созданию алгоритма управления для реального объекта и проверки его на рабочем стенде, имитирующем работу реального объекта по следующей методике:

1. Создание алгоритма управления. Реализация совпадает с реализацией аналогичного этапа при проведении машинного эксперимента. Коротко опишем стадии:
  - создание модели объекта управления;
  - отладка созданной модели («разомкнутое моделирование»);
  - создание алгоритма управления объектом;
  - отладка созданного алгоритма («разомкнутое моделирование»);
  - совместная отладка алгоритма управления и модели объекта управления («замкнутое моделирование»);
  - компилирование полученной принципиальной схемы алгоритма управления.
2. Загрузка полученного алгоритма управления в оболочку системы управления:
  - для многофайлового алгоритма управления – сборка всех необходимых файлов;
  - обработка созданного алгоритма в формат для загрузки в оболочку системы управления;
  - непосредственная загрузка алгоритма.
3. Запуск созданного алгоритма в реальной системе управления и отладка созданного алгоритма на реальном оборудовании:
  - подготовка рабочего стенда к запуску модели объекта управления и системы управления данным объектом;
  - запуск системы модели и системы управления;

- имитирование различных ситуаций на модели объекта управления и анализ реагирования системы управления на возникающие возмущения.

Далее производится подробный анализ каждого из этапов проведения эксперимента и сравниваются результаты реального и машинного экспериментов, которые подтверждают теоретические разработки. Затем проводится анализ результатов эксперимента, определяются пути промышленного внедрения программного продукта, реализующего систему проектирования, определяются пути дальнейшего развития проекта.

**В заключении** анализируются решения всех поставленных во второй главе задач, а также приводятся основные научные результаты работы. Кроме того, анализируются практические результаты применения разработанной системы проектирования для создания систем управления. Проводится сравнительный анализ результатов проектирования в созданной системе и по старой технологии, используемой ранее на предприятии-изготовителе систем управления энергетическими объектами и состоящей в использовании ручного программирования на специальных языках алгоритмов управления энергетическими объектами. Приводятся основные показатели сравнительного анализа:

- трудоемкость процесса создания алгоритма управления уменьшилась примерно в 2.5 раза. Результат достигнут благодаря улучшенному интерфейсу пользователя, открытости и настраиваемости системы проектирования;
- трудоемкость процесса отладки и тестирования созданного алгоритма уменьшилась примерно в 4.5 раза. Результат достигнут благодаря наличию модуля отладки, возможности создания модели объекта управления и отладки в режиме замкнутого цикла;
- точность соответствия созданного алгоритма управления техническому заданию повысилась на 0.9% (от 99% до 99.9%). Данный результат достигнут благодаря возможности построения модели объекта управления и отладки в режиме замкнутого цикла, а также благодаря построенной модели процесса проектирования в виде ориентированного графа и разработанным алгоритмам его обработки. Кроме того, разработка методик проведения экспериментов по проверке функционирования системы проектирования и алгоритма управления также способствовала обеспечению данного результата;

- трудоемкость создания документации снизилась примерно в 3 раза.

Кроме того, улучшились такие неколичественные характеристики, как удобство, качество и скорость работы оператора-алгоритмиста, качество выпускаемой документации.

## **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ**

1. Выработаны и определены требования к системам проектирования АСУ энергетических объектов.
2. Разработаны принципы построения систем проектирования АСУ ЭО, учитывающих указанные требования.
3. Построена модель процесса проектирования АСУ в виде ориентированного графа.
4. Разработаны алгоритмы обработки построенной модели на основе теории графов для реализации спроектированного алгоритма управления.
5. Разработан алгоритм построения модели объекта управления для отладки и тестирования создаваемой системы управления.
6. Построена система проектирования на основе разработанной методики.
7. Разработаны и отлажены методики проведения экспериментов по проверке созданной системы проектирования, а также проверке алгоритма управления, спроектированного при помощи построенной системы проектирования.
8. Результаты исследований в виде пакета прикладных программ внедрены на объектах управления.

## **ПУБЛИКАЦИИ**

1. М.С. Туркин, Автоматизация проектирования АСУ объектов энергетики, Промышленные АСУ и контроллеры, №1 2001г. (стр. 11-14).
2. М.Г. Мадорский, Е.Д. Иохельсон, Н.С. Марголин, М.С. Туркин, Программно-технический комплекс «Автонит», Промышленные АСУ и контроллеры, №3 2001г. (стр. 25-30).
3. М.С. Туркин, Об автоматизации процесса разработки автоматизированных систем управления промышленных энергетических комплексов, Промышленная энергетика, №4 2001г. (стр. 29-31).
4. М.С. Туркин, Анализ САПР для АСУ, Промышленные АСУ и контроллеры №4 2001г. (стр. 14-17).