

# КОНЦЕПЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ИСПЫТАНИЯ И ВВОДА В ЭКСПЛУАТАЦИЮ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

*Б. В. Доровских, В. В. Люльчак, В. В. Малышев, Д. С. Уваров, Е. В. Феоктистова*

Московский филиал «Центратомтехэнерго» ОАО «Атомтехэнерго», Москва

«Энергетическая стратегия России на период до 2030 года», утвержденная распоряжением правительства РФ № 1715-р от 13.11.2009 г., предусматривает увеличение темпов развития и упрочнение позиций атомной отрасли на мировых рынках. Развитие, в свою очередь, невозможно без условия повышения эффективности и конкурентоспособности атомной промышленности и выхода её на мировой рынок возведения атомных электростанций (АЭС). При этом повышение общей эффективности отечественной атомной отрасли зависит, в том числе, от повышения показателей качества проектирования, разработки и внедрения Автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) АЭС.

## 1. Усовершенствование проектирования АСУ ТП АЭС

Одним из направлений развития атомной промышленности является усовершенствование процесса проектирования, создания и ввода в эксплуатацию АСУ ТП для АЭС. Основные концепции подготовки АСУ ТП к установке на АЭС требуют пересмотра существующих методов и разработки новых методов проектирования, испытания и внедрения АСУ ТП АЭС.

Выделим основные направления развития, целью которых является усовершенствование процесса создания и внедрения АСУ ТП АЭС:

- увеличение степени готовности оборудования АСУ ТП, поставляемого на площадку АЭС, к осуществлению наладки и монтажа данного оборудования за счет согласованного и утвержденного планирования ведения работ по созданию и внедрению АСУ ТП и согласованной работы организаций, участвующих в создании и внедрении АСУ ТП;

- снижение времени проектирования АСУ ТП за счет применения единых принципов разработки технологического задания (ТЗ), задания заводу-изготовителю (ЗЗИ) программного технического комплекса (ПТК), использования в процессе проектирования автоматизированных систем проектирования;

- общее снижение затрат на создание и ввод в эксплуатацию АСУ ТП за счет параллельного веде-

ния этапов проектирования ПТК различных подсистем АЭС;

- повышение качества конечного продукта за счет применения инновационных подходов при проектировании и создании АСУ ТП.

Корректировка и устранение замечаний к оборудованию АСУ ТП до этапа внедрения ПТК/подсистем АСУ ТП на АЭС позволяет снизить время внедрения проекта АСУ ТП на площадке АЭС.

Проект АСУ ТП содержит значительное количество алгоритмов технологических защит, блокировок и сигнализации (ТЗБиС), систем автоматического регулирования (САР) (например, в системе контроля и управления турбинным отделением (СКУ ТО) более 900 алгоритмов ТЗБиС, САР).

Алгоритмы влияют на исполнительные механизмы (ИМ) в различных подсистемах АСУ ТП АЭС. Каждая подсистема отвечает за определенный технологический процесс и требует высокой надежности и качества выполнения работ, как от разработчиков АСУ ТП, так и от персонала, эксплуатирующего АЭС.

В целях обеспечения указанного требования для проекта создания АСУ ТП АЭС используется концепция, основанная на применении современных подходов к проектированию и изготовлению оборудования АСУ ТП, и на использовании опыта ввода в эксплуатацию АСУ ТП действующих АЭС в России и за рубежом.

Как представлено на рис. 1, этапы проекта создания АСУ ТП по своему назначению условно подразделяются на три вида.

1. Управление – этап, связанный с созданием структуры управления проектом, который предназначен для обеспечения процесса создания АСУ ТП проектными функциями планирования, организации и контроля.

2. Основные этапы – этапы, направленные на достижение поставленных целей и выполнение главных задач проекта создания АСУ ТП.

3. Вспомогательные этапы – этапы, обеспечивающие качественное выполнение основных этапов создания АСУ ТП, а также интеграцию компонентов АСУ ТП в единое целое.

Концепция отражает метод управления проектом, который позволяет организовать эффективное взаимодействие между участниками проекта созда-

ния АСУ ТП, а также установить требования к исходному и конечному состояниям каждого этапа испытаний. Проект создания и испытаний АСУ ТП АЭС представляет собой совокупность упорядоченных во времени, взаимосвязанных, объединенных в стадии и этапы работ. Выполнение вышеприведенных работ (рис. 1) необходимо и достаточно для создания системы, соответствующей требованиям по поставке оборудования на площадку АЭС.

Очевидным является тот факт, что чем на более раннем этапе проектирования найдена и локализована ошибка, тем проще ее устранить, с наименьшими финансовыми и временными затратами. Таким образом, основной идеей, закладываемой в Концепцию современного подхода к проекту создания ПТК подсистем и АСУ ТП, является введение в процесс создания дополнительных этапов испытаний. Они оказывают вспомогательную функцию для основных этапов создания и за счет использования прогрессивных и интегрированных методов анализа позволяют достигать максимальных результатов в корректировке проекта разработки АСУ ТП, поиске и устранении ошибок на всех этапах создания АСУ ТП (рис. 1).

## 2. Организация и выполнение Концепции создания и испытаний АСУ ТП

Выполнение этапов Концепции создания и испытаний АСУ ТП имеет определенную последовательность. Процедура перехода от этапа к этапу, условия начала и окончания каждого этапа представлены на рис. 2.

Рассмотрим подробнее этапы проектирования и взаимодействия между основными и вспомогательными этапами.

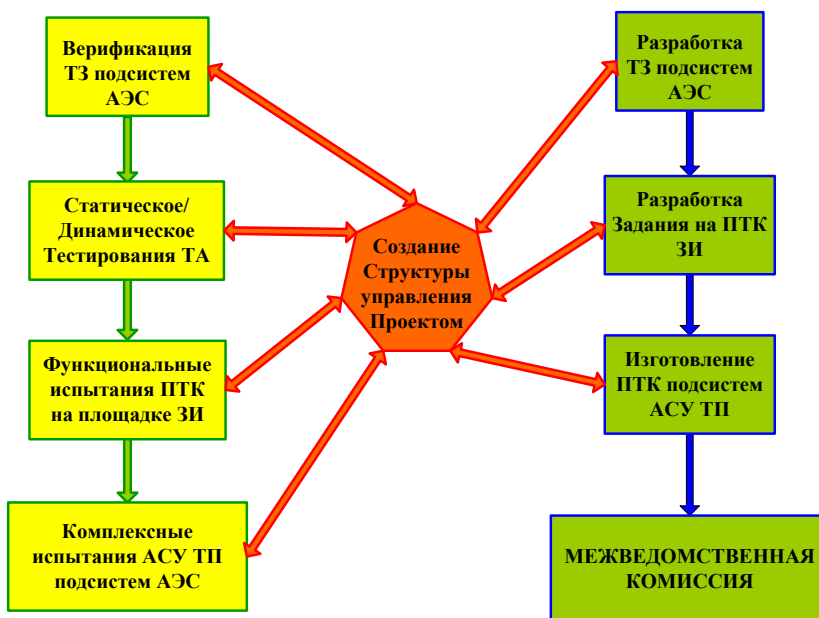


Рис. 1. Структура этапов создания АСУ ТП по назначению

### 2.1. Разработка технологического задания подсистем АЭС

Этап разработки ТЗ подсистем АЭС является основным этапом проектирования АЭС и выполняется Генеральным проектировщиком АЭС. Результатом работы на этом этапе является ТЗ, включающее в себя состав основного технологического оборудования, точки контроля, алгоритмы управления и взаимодействия между собой различных элементов и ИМ АСУ ТП.

### 2.2. Верификация технологического задания подсистем АЭС

Этап верификации ТЗ является вспомогательным этапом и следует за этапом разработки ТЗ. Под верификацией понимается подтверждение на основе представления объективных свидетельств того, что разработанное ТЗ референтно с аналогичными проектами АЭС в России и за рубежом. Кроме этого, на этапе верификации проверяется общая целостность проекта, взаимосвязь отдельных подсистем проекта АСУ ТП между собой.

Проведение работ по этапу верификации начинается после выхода «нулевой» редакции технологического задания подсистем АСУ ТП. Выполнение работ по этапу возможно выполнять по мере готовности технологического задания на отдельные подсистемы АЭС.

По результатам проведения верификации принимается решение о корректировке технологического задания подсистем АЭС. После чего этап верификации повторяется снова.

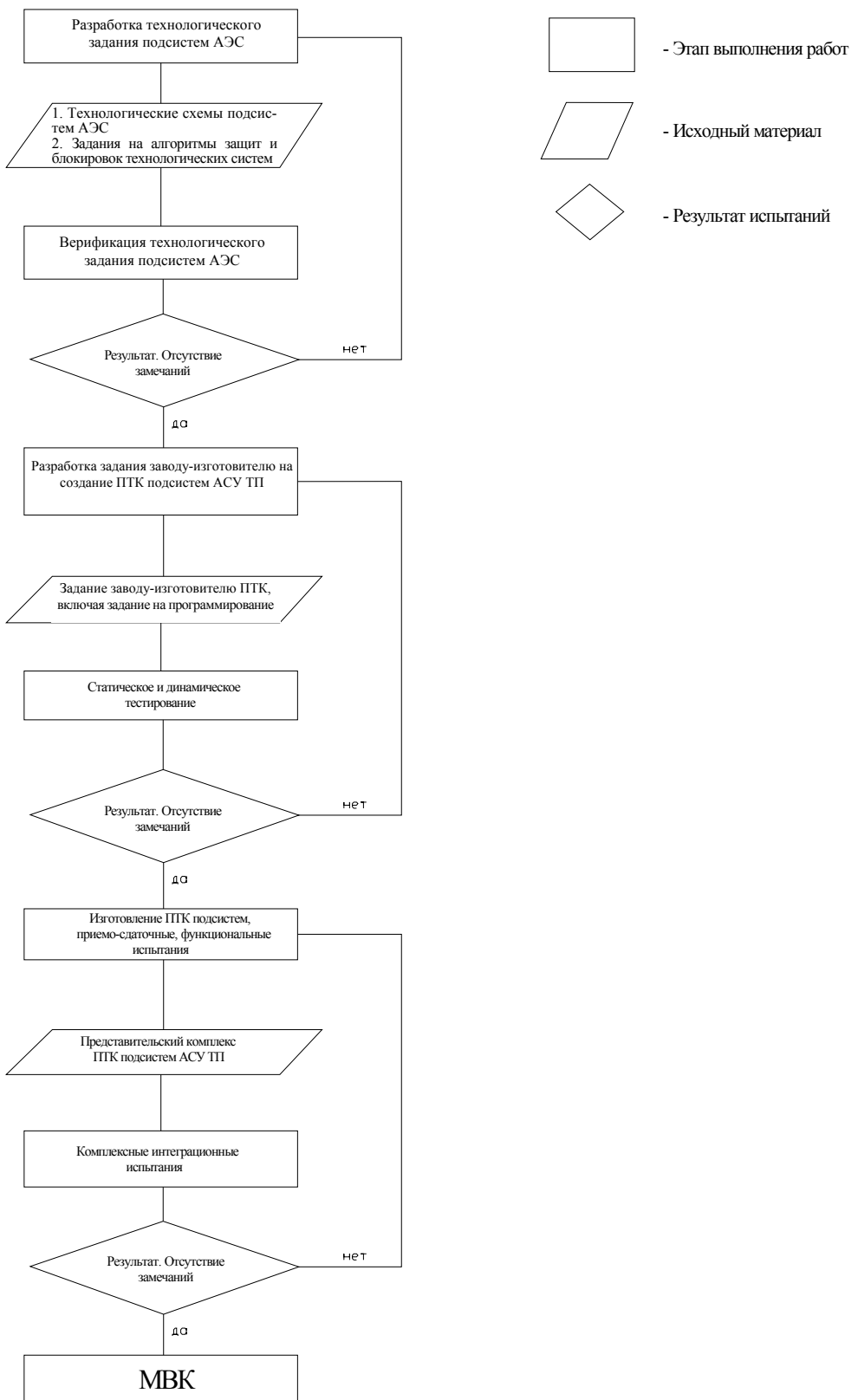


Рис. 2. Последовательность выполнения концепции создания и испытаний АСУ ТП

### 2.3. Разработка технического задания заводу-изготовителю на создание ПТК подсистем АСУ ТП

Этап разработки технического задания заводу-изготовителю (ЗЗИ) на создание подсистем АСУ ТП АЭС является основным этапом.

Рассмотрим этап разработки задания заводу-изготовителю.

Во время работы над заданием ПТК соответствующей подсистемы АЭС применяется структурированная система проектирования.

Основные этапы ее следующие:

- 1 этап – анализ исходных данных;
- 2 этап – разработка документации для проектирования ПТК подсистем АСУ ТП;
- 3 этап – разработка базы данных ПТК подсистем АСУ ТП;
- 4 этап – разработка технологического задания в формализованном виде на ПТК подсистем АСУ ТП;
- 5 этап – разработка задания заводу-изготовителю ПТК подсистем АСУ ТП.

2.3.1. Первый этап проектирования ПТК соответствующей подсистемы АСУ ТП «Анализ исходных данных» включает в себя получение и обработку исходных данных по контрольно-измерительным приборам (КИП), ИМ, входящих в состав ПТК подсистемы, и технологическим алгоритмам (ТА).

2.3.2. В период второго этапа «Разработка документации для проектирования ПТК подсистем АСУ ТП» специалисты разрабатывают документацию, необходимую для проектирования ПТК подсистем АСУ ТП.

2.3.3. Для компоновки исходных данных, поиска интересующих сигналов, КИП и ИМ, алгоритмов ТЗБиС и САР технологических систем и схем подключения на третьем этапе разрабатывается «База данных» в соответствии с требованиями к ней по содержанию. В соответствии с инструкцией по кодированию, каталогом схем подключений и каталогом типовых решений каждому элементу в базу данных (БД) соотносится соответствующая схема подключения и типовой алгоритм.

2.3.4. Четвертый этап. «Технологическое задание в формализованном виде ПТК подсистем АСУ ТП» разрабатывается по результатам и обработанным данным выше перечисленных этапов. Это один из важнейших этапов проектирования, т. к. на этом этапе словесное описание технологических алгоритмов преобразуется в структурные схемы, построенные на стандартных функциональных блоках и распределенные согласно технологическим системам объекта.

Этап проектирования ТЗ в формализованном виде реализован для упрощения и ускорения представления, понимания, обработки, анализа и модернизации ТЗ согласно технологии и эксплуатации ПТК подсистем АСУ ТП АЭС.

2.3.5. На пятом этапе разрабатывается и передается «Задание заводу-изготовителю ПТК подсистем АСУ ТП.

Задание заводу-изготовителю включает в себя следующую документацию:

- база данных ПТК СКУ ТО;
- компоновка шкафов ПТК, определяется Базой данных, в которой указано в каком шкафу, какой модуль и в каком количестве должен быть установлен;
- общие виды шкафов ПТК, составляются в соответствии с документом, определяющим компоновку шкафов;
- заявочная спецификация на ПТК;
- схемы внутрисистемных соединений;
- схемы внешних соединений шкафов ПТК (включая кроссовые шкафы);
- технологическое задание в адаптированном виде.

Завод-изготовитель (ЗИ) производит компоновку шкафов, разработку кроссовых приборных стоек, стоек промреле.

Согласно заданию на общие виды шкафов ПТК СКУ ТО завод производит заполнение стоек модулями согласно указанным в задании физическим адресам.

Адаптированные алгоритмы разрабатываются в среде графического проектирования и представляют собой планы ТЗБиС и САР подсистемы в виде максимально приближенном к планам, которые используются при программировании ПТК. Данные алгоритмы выполняются в соответствии с каталогом типовых решений, основываясь на алгоритмах, выполненных в формализованном виде.

Данный этап позволяет привлечь для программирования ПТК и создания программного проекта узкоспециализированный персонал завода-изготовителя, не владеющий знаниями в области технологических процессов, что сокращает время на разработку программного проекта и параметрирование ПТК.

Заключительным этапом проектирования является этап программирования ПТК – разработка проекта в среде автоматического проектирования ПТК. На данном этапе завод-изготовитель, основываясь на адаптированных алгоритмах, создает проект для параметрирования ПТК.

### 2.3. Статическое и динамическое тестирование алгоритмов

Этап статического и динамического тестирования алгоритмов является вспомогательным этапом. Исходным материалом для начала работ являются технические задания или задания заводу-изготовителю на ПТК, включая задания на программирование ПТК подсистем АСУ ТП.

На этапе статического и динамического тестирования ПТК подсистем АЭС проводится тестирование алгоритмов ТЗБиС, САР, функций управления ИМ, функций приема, передачи и обработки сигнала.

лов от первичных преобразователей (ПП), функционально-группового управления (ФГУ) ИМ с помощью прикладного программного обеспечения.

Тестирование проводится с целями:

– подтверждения корректности программной реализации алгоритмов ТЗБиС и САР, реализованных в ПТК подсистем АЭС;

– анализа выполнения функций, установленных требований в ПТК.

Объектом статического тестирования является интегрированная математическая модель технологических алгоритмов, повторяющих технологические алгоритмы ПТК подсистем АСУ ТП, реализованная на специализированном программном обеспечении. Статическое тестирование проводится на персональном компьютере с установленным программным обеспечением, отсутствует необходимость в специально оборудованном рабочем месте для имитации задействованных сигналов в технологических алгоритмах.

Статическое тестирование проводится в границах ПТК подсистем АСУ ТП по заранее утвержденным программам и методикам статического тестирования технологических алгоритмов ПТК соответствующих подсистем АЭС. Программы тестирования разрабатываются на основании базы данных (БД): исходных данных, технологических схем и ТЗ.

Во время статического тестирования имитируются все задействованные в проверяемом алгоритме сигналы и состояния ИМ, например, сигналы от ПП, достоверность сигнала от ПП, параметры блока регулирования, включение/отключение насоса, двигателя, закрытие/открытие задвижки, включение регулирующего клапана (РК) в режим автоматического/дискретного управления, работу дискретных блоков установки.

Сигналы, приходящие в алгоритмы испытываемого ПТК системы контроля и управления (СКУ) подсистемы АЭС из алгоритмов смежных ПТК подсистем АЭС АСУ ТП, имитируются программным путем. Сигналы, передаваемые в другие ПТК, контролируются на границе тестируемого ПТК подсистемы АСУ ТП.

Обработка результатов тестирования проводится на основании визуального контроля логики формирования ТЗБиС, САР, индикации положения ИМ, ФГУ, анализа протоколов программного обеспечения (распечатки контролируемых параметров и сигналов алгоритмов технологических защит и блокировок, САР).

По окончании работы формируется отчет о проведении статического тестирования программно реализованных ТА проверяемой подсистемы АЭС и рассылается его разработчикам и в заинтересованные организации.

Таким образом, при проведении статического тестирования ТА формируются рекомендации к реализации ТА.

Объектом динамического тестирования являются ТА ПТК подсистем АСУ ТП, интегрированные в математическую модель энергоблока.

При динамических испытаниях проверяется логика и корректность функционирования технологических алгоритмов АСУ ТП в динамических режимах работы энергоблока, при этом появляется возможность оценить влияние действий конкретных защит и блокировок на ход технологического процесса соответствующей подсистемы.

По итогам проведения тестирования принимается решение о корректировке ТА, ТЗ, ЗЗИ. После внесения корректировок принимается решение о необходимости проведения повторного статического и динамического тестирования в части внесенных изменений для проверки их корректности. Цикл повторяется до полного устранения всех выявленных замечаний.

Введение этапа статического и динамического тестирования позволяет устранить значительное количество замечаний, которые ранее могли быть устранены только лишь при испытаниях на заводе-изготовителе или при проведении пуско-наладочных работ (ПНР), и значительно уменьшить время последующих испытаний на заводе-изготовителе и при проведении ПНР.

На данном этапе для сокращения временных затрат возможно параллельное ведение статического и динамического тестирования.

#### **2.4. Изготовление ПТК подсистем АСУ ТП и заводские приемо-сдаточные испытания**

Этап изготовления и заводских приемо-сдаточных испытаний ПТК подсистем АСУ ТП АЭС является основным этапом. На нем происходит изготовление ПТК АСУ ТП в соответствии с разработанными ТЗ и ЗЗИ, после чего оборудование АСУ ТП проходит испытания на заводе-изготовителе, где проверяется работоспособность изготовленных элементов и оборудования АСУ ТП. Осуществляется проверка измерительных каналов, типовых функций, реализованных в программных модулях.

По итогам проведения заводских приемо-сдаточных испытаний устраняются замечания к оборудованию, входящему в состав АСУ ТП, после чего проводятся повторные испытания. По результатам испытаний заполняется журнал несоответствий.

На этапе заводских приемо-сдаточных испытаний осуществляется подтверждение способности ПТК выполнять свои функции в условиях, предусмотренных проектом. На этапе заводских испытаний выполняется проектное подключение функциональных стоек, стоек шлюзов сопряжения. Данный этап является подготовительным для этапа функциональных испытаний.

## 2.5. Функциональные испытания на площадке завода-изготовителя

На этапе функциональных испытаний помимо проверки корректности реализации ТА в ПТК соответствующей подсистемы реализуется также проверка следующих специфических функций ПТК:

- корректность применения циклов обсчета (от типа цикла зависит скорость и последовательность обработки программной логики внутри самого алгоритма и передача/прием сформированных аналоговых и дискретных сигналов между модулями);
- корректность установки программно реализованных ТА в функциональный модуль;
- использование специфических операндов (с запоминанием/без запоминания текущего значения сигнала в алгоритме при смене типа основного/резервного модуля);
- параметризация программных модулей оборудования для отображения сформированных ими сигналов на систему верхнего блочного уровня (СВБУ);
- применение кодов важности для распределения сигналов на сигнализацию, отображения на СВБУ и функции архивирования;
- отображение/архивация на имитаторе СВБУ аналоговых, дискретных и событийных сигналов;
- скорость передачи/приема сигналов оповещающей информации на СВБУ;
- корректность программного формирования сигналов сообщений для передачи между функциональными стойками и на имитатор СВБУ.

Данные особенности ПТК не отображаются на этапе статических и динамических испытаний.

На площадке тестирования разрабатываемого ПТК подсистемы АСУ ТП используется следующее оборудование:

- ПТК соответствующей подсистемы (стойки питания, функциональные стойки с программируемыми модулями, стойки шлюза сопряжения);
- имитаторы задвижек, РК, двигателей, соленоидных клапанов, дискретных сигналов;
- имитатор аналоговых сигналов;
- программаторы (для контроля и имитации программных операндов);
- имитатор СВБУ.

В программные модули функциональных стоек устанавливается программная реализация ТА соответствующей подсистемы АЭС, реализованная в соответствии с ЗЗИ.

Иницирующие воздействия из алгоритмов: технологических защит блокировок (ТЗБ), САР контролируются с помощью имитаторов ИМ, программатора и имитатора СВБУ.

Имитаторы оборудования подключаются к программным модулям в соответствии с проектной схемой соединения.

На СВБУ проверяется наличие, отображение и работа окон управления оборудованием, информационных окон, окон сигнализации и отображение требуемых сигналов системы отделения АЭС.

Функциональные испытания проводятся по заранее разработанным и утвержденным программам и методикам функциональных испытаний. Программы и методики испытаний разрабатываются на основании БД: исходных данных, технологических схем, технологического задания и задания заводу-изготовителю ПТК соответствующих подсистем с учетом используемого оборудования на площадке испытаний ПТК подсистемы АСУ ТП АЭС.

По окончании проведения этапа функциональных испытаний на имитаторе СВБУ снимается архив о проведенной работе, где отображены закодированные сигналы и алгоритмы согласно инструкции кодирования сигналов в ПТК подсистем, изменения сигналов ПП, сформированных дискретных и аналоговых сигналов в технологических алгоритмах, изменение уставок, сообщения о неисправностях, срабатывании алгоритмов ТЗБиС, САР.

По итогам функциональных испытаний формируется отчет с указанием замечаний и рекомендации к их устранению. Отчет передается в адрес всех заинтересованных организаций. После устранения замечаний функциональные испытания повторяются в части внесенных изменений.

Цикл, как и на предыдущих этапах, повторяется до полного устранения всех выявляемых замечаний.

Этап функциональных испытаний является подготовительным для этапа комплексных интеграционных испытаний.

## 2.6 Комплексные интеграционные испытания ПТК подсистем АСУ ТП АЭС

Комплексные интеграционные испытания являются завершающим этапом испытаний подсистем, входящих в состав АСУ ТП. Основной идеей введения этого этапа является комплексное опробование подсистем АСУ ТП в условиях моделирования режима эксплуатации оборудования АСУ ТП.

При интеграционных испытаниях используются модели смежных подсистем АСУ ТП, программные имитаторы ИМ, представительская часть СВБУ. В рамках общеклочной математической модели проверяется вся логика работы комплекса АСУ ТП от иницирующего сигнала (первичного преобразователя) до реакции исполнительного механизма, прохождение программных сигналов между отдельными частями АСУ ТП.

Таким образом, проведение комплексных интеграционных испытаний ПТК подсистем АСУ ТП АЭС в условиях моделирования режима эксплуатации оборудования АСУ ТП позволяет выявить и устранить замечания связанные с программной реализацией формирования сигналов, их передачей в пределах подсистем и СВБУ.

По итогам проведения комплексных интеграционных испытаний формируется отчет с указанием

замечаний и рекомендаций к их устранению. После корректировки оборудования, входящего в состав АСУ ТП, проводятся повторные испытания. Цикл, как и на предыдущих этапах, повторяется до полного устранения всех выявляемых замечаний.

Все интеграционные испытания АСУ ТП АЭС сводятся к проверке готовности оборудования для его размещения и внедрения в эксплуатацию на площадке АЭС.

## **2.7 Межведомственная комиссия по приемке АСУ ТП**

Заключительным этапом, при необходимости, является проведение межведомственной комиссии (МВК) по приемке АСУ ТП. Члены комиссии по итогам проведения комплексных интеграционных испытаний принимают решение о готовности АСУ ТП АЭС.

## **3 Общие выводы**

Предложенная концепция позволяет значительно увеличить степень готовности конечного продукта, повысить его качество перед этапом пусконаладочных работ. Введение новых этапов испытания ПТК, контроля при проектировании и вводе в эксплуатацию позволяет:

– значительно снизить время разработки проекта АСУ ТП за счет оптимизации структуры управления проектом АСУ ТП;

– снизить общие затраты на проектирование, создание и ввод в эксплуатацию АСУ ТП за счет введения инновационных подходов к проектированию.

Распределение проектирования, создания и внедрения АСУ ТП по этапам дает возможность ведения четко структурированных параллельных и последовательных работ различными организациями, объединенными одной целью – внедрение качественной АСУ ТП АЭС.

Участие в проектировании, разработке и внедрении АСУ ТП АЭС узкоспециализированных высококвалифицированных работников различных организаций позволяет на вспомогательных этапах проектирования и создания АСУ ТП АЭС выявить, устранить замечания и откорректировать технологическое задание, задание на ПТК, задание заводу-изготовителю СКУ, разработанное ПТК или оборудование СКУ.

Таким образом, общая работа различных организаций и проведение верификации технологического задания, статического и динамического тестирования технологических алгоритмов в ПТК, комплексных интеграционных испытаний СКУ АЭС позволяет повысить качество и надежность перед этапом внедрения АСУ ТП на площадку АЭС. А также позволяет повысить качество и надежность при проектировании технологических заданий, ПТК подсистем и СВБУ АСУ ТП.

В дальнейшем необходимо и целесообразно развивать и все более широко внедрять современные подходы при проектировании АСУ ТП.