

Федеральное агентство по образованию

---

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Ивановский государственный энергетический университет  
имени В.И. Ленина»

# **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМ**

**ТРУДЫ ИГЭУ**

**Выпуск IX**

*Под редакцией*

*доктора технических наук, профессора В.А. Шуина,  
доктора технических наук, профессора М.Ш. Мисриханова,  
доктора технических наук, профессора А.В. Мошкарина*

Москва 2009

УДК 621.311

ББК 31.37

П 42

Повышение эффективности работы энергосистем: Тр. ИГЭУ. Вып. IX / Под ред. В.А. Шуина, М.Ш. Мисриханова, А.В. Мошкарин. – М.: Энергоатомиздат, 2009. – 572 с.

ISBN 978-5-283-03312-9

**Редакционная коллегия:**

д-р техн. наук, проф. С.В. Тарарькин,  
д-р техн. наук, проф. Б.М. Ларин, д-р техн. наук, проф. М.Ш. Мисриханов,  
д-р техн. наук, проф. А.В. Мошкарин, д-р техн. наук, проф. В.Н. Нуждин,  
д-р техн. наук, проф. В.А. Савельев, д-р техн. наук, проф. В.А. Строев,  
д-р техн. наук, проф. В.А. Шуин, д-р техн. наук, проф. А.В. Шунтов

*Рецензенты:*

*д-р техн. наук, В.Г. Наровлянский (ОАО «Институт Энергосетьпроект», г. Москва);*

*д-р техн. наук, проф. А.В. Шунтов (Информационно-вычислительный центр Мосэнерго);*

*д-р техн. наук, проф. Ю.А. Митькин (ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»)*

В предлагаемой читателю книге представлены статьи, являющиеся результатами разработок, теоретических и экспериментальных исследований в области теплоэнергетики, электроэнергетики, систем управления и автоматизации, компьютерных технологий, выполненных сотрудниками Ивановского государственного энергетического университета, МЭС Центра ОАО «ФСК ЕЭС», а также других вузов, научно-исследовательских, проектных и эксплуатационных организаций.

Книга предназначена для специалистов, занимающихся исследованием, разработкой, проектированием и эксплуатацией энергетических систем, электрических станций и сетей, комплексов и устройств их автоматического управления.

ISBN 978-5-283-03312-9

© Авторы, 2009

---

## КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

УДК 681.3.06:621.18:681:511

### КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ СОВРЕМЕННОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ АСУТП ТЭС

*Е.С. Целищев, д-р техн. наук, И.С. Кудряшов, инж.*

Проектирование АСУТП ТЭС является одной из важных и трудных задач, для решения которой предлагается множество вариантов программного обеспечения. Проектные организации вынуждены рассматривать задачу перехода на современное высокопроизводительное автоматизированное проектирование с помощью систем автоматизированного проектирования (САПР) как неизбежную необходимость. Предлагаемые в данной области программные продукты разработчики с легкостью позиционируют как относящиеся именно к этой категории программных средств.

Почему именно САПР? И что такое САПР?

Совершенствование программных средств должно соответствовать актуальным тенденциям развития тех разделов технической инфраструктуры общества, в тесной связи с которыми они функционируют. Для АСУТП энергетических предприятий одной из характерных особенностей является направленность на повышение степени автоматизации технологических процессов в целях устранения «человеческого фактора» и, таким образом, повышение стабильного качества решения комплекса задач контроля и управления. Логичным выглядит применение этого подхода и в области проектирования АСУТП ТЭС. Реализации автоматизированного процесса проектирования соответствует категория программных продуктов, объединенных термином САПР.

Для формулирования требований к САПР, которая может рассматриваться как универсальное или хотя бы пригодное решение задачи проектирования АСУТП ТЭС в существующих российских условиях, сначала необходимо определиться с границами и характеристиками предметной области проектирования.

Особенности проектных работ в России:

- исторически сложившаяся консервативная система документации по отдельным отраслям промышленности и энергетики;
- процесс проектирования, ориентированный на получение сиюминутного результата, что часто противоречит логике и технологии проектирования;
- большая «подвижность» информационного обеспечения процесса проектирования; «текучка» номенклатур и производителей технических средств;
- процесс автоматизации проектирования, ориентированный на сиюминутный результат в отсутствии планомерного подхода к решению данной задачи;
- унаследованное расслоение проектировщиков в профессиональном (квалификационном) плане; несоответствие уровня навыков и знаний о предметной области степени владения технологиями автоматизированного проектирования.

Как эти особенности должны реализоваться в программных средствах для проектирования? Каким требованиям должны в результате соответствовать САПР в области проектирования АСУТП? Кроме особенностей проектных работ следует учитывать уникальные особенности самой предметной области – проектирование АСУТП.

Практика внедрения показывает, что в России в каждой проектной организации существует своя система проектной документации, поэтому САПР должна позволять пользователю настраивать форму и состав выводимой документации, не прибегая к низкоуровневому программированию системы. Кроме этого, достаточно частой является ситуация, когда заказчик требует в «своем» проекте формировать документацию в виде, который отличается от принятых форм документов в проектной организации, выполняющей проект. В случае отсутствия возможности настройки форм документов непосредственно пользователем проигрывают все. Пользователь вынужден постоянно обращаться к разработчику, что долго и неэффективно. Разработчик, с одной стороны, получает источник стабильного дохода от всех пользователей, но, с другой стороны, вместо разработки программы он вынужден заниматься постоянной «поддержкой», что не может положительно сказаться на динамике развития системы в целом. По этой же причине значительно усложняется процесс внедрения системы.

Не редкой является ситуация, когда в угоду сиюминутному результату «перекраивается» процесс проектирования. Например, часто заказные спецификации формируются в начале проектных работ. В САПР должна быть реализована возможность адаптации процесса проектирования

под такие условия, что возможно только при «свободно» компоуемом информационном обеспечении процесса проектирования. Это в равной степени относится и к последовательности проектных процедур и операций.

«Подвижность» информационного обеспечения, связанная с изменениями номенклатуры производителей, использование в разных проектах разных составов технических средств, разных принципов кодирования, возможные изменения форм и состава документации и т.д. вынуждают строить САПР таким образом, чтобы у проектировщика всегда была возможность динамично дорабатывать как информационное обеспечение, так и собственно процесс проектирования.

Проектная организация хочет получить мгновенный эффект от внедрения средств автоматизации проектирования. В результате часто отдается предпочтение средствам малой автоматизации, а не большим системам, подразумевающим планомерное внедрение и комплексную автоматизацию всего процесса проектирования. Поэтому САПР в базовой комплектации должна приносить ощутимый эффект сразу и позволять его развивать в дальнейшем.

Среднестатистический специалист высокой квалификации в области АСУТП владеет компьютером и базовыми программными средствами, используемыми для проектирования: текстовым редактором, редактором таблиц и графическим редактором. Но у него не хватает времени для овладения «профессиональной» программой автоматизированного проектирования. С другой стороны, среднестатистический специалист по САПР недостаточно владеет тонкостями выполнения проектных работ и знаниями о предметной области. В таких условиях оптимальным будет разделение прав пользователей САПР на администратора и пользователя. Администратор обеспечивает эксплуатацию и обслуживание самой САПР, а пользователь выполняет проекты АСУТП. Кроме этого, система должна автоматически обеспечивать качество проектных работ, подтягивая, таким образом, результаты работ, выполняемых специалистами разной квалификации, к необходимому уровню качества принятия решений.

**Проектирование АСУТП: тенденции развития, особенности, отличия от проектирования электрических схем.** Типовое техническое решение – ключевое понятие при проектировании структурно сложных электротехнических систем, к которым относятся и системы АСУТП. Несмотря на большое количество элементов, связей, документов, эти системы на 99 % построены из типовых электрических структур, типовых функциональных комплектов технических средств, каждое из которых характеризуется типовым набором параметров, выбор значения которых

является результатом принятия типового технического решения. Говоря о решении задачи проектирования таких систем, мы практически имеем в виду единый комплекс принятия малых типовых проектных решений. Таким образом, сложная задача проектирования сводится к решению большого числа простых задач тиражирования готового набора технических решений. С этой точки зрения задача автоматизации проектирования может рассматриваться как задача автоматизации тиражирования проектных решений, а это в каждом конкретном случае означает автоматический выбор подходящего проектного решения из всех имеющихся в соответствии с требованиями для этого случая.

Большое универсальное техническое решение невозможно и бесполезно. Но, чем меньше «размер» и больше специализация проектных решений, тем более соответствующий техническому заданию проект можно из них сформировать. Обратной стороной медали является необходимость принятия большого количества типовых проектных решений.

Объективное качество проекта – это его соответствие техническому заданию. Поэтому, чем более специализированные и малые типовые проектные решения были применены в проекте и чем выше качество выбора из них наиболее подходящих, тем выше качество проекта. Возможность принятия большого числа таких малых специализированных проектных решений определяет качество системы проектирования.

Степень автоматизации принятия малого типового технического решения в конечном итоге определяет степень автоматизации проектирования АСУТП ТЭС.

Исторически развитие решений задачи проектирования АСУТП можно разделить на следующие этапы:

1. ручное проектирование (черчение);
2. разработка, внедрение и использование типовых альбомов;
3. разработка электронных документов (таблица, чертеж);
4. «легкие» САПР: разработка, внедрение и использование электронных типовых альбомов – базы данных, наборы блоков;
5. полноценные («тяжелые») САПР.

Все эти этапы соответствуют предлагаемой концепции и укладываются в схему направленного развития от ручного формирования каждого конкретного технического решения к автоматическому тиражированию типовых технических решений из соответствующей базы технических решений.

Программные средства информационного обеспечения процесса проектирования, в таком случае, развиваются, с одной стороны, в направлении увеличения комплексной информационной емкости базы ти-

повых технических решений, а с другой – в направлении оптимизации доступа к этому постоянно растущему объему информации.

Рассмотрим принципиальную электрическую составляющую проекта АСУТП. В нее входят принципиальные электрические схемы подключения датчиков, управления электроприводом, электропитания, подключения сигналов ввода-вывода к вторичным приборам и т.д. – все это типовые схемы, т.е. электрическая структура систем АСУТП состоит из большого числа типовых электрических схем. Процесс формирования комплексной принципиальной электрической структуры системы АСУТП путем вычерчивания (проведения) связей между отдельными элементами системы заведомо неэффективен по сравнению с тиражированием ограниченного числа готовых типовых электрических структур. Кроме этого, путь ручного формирования электрической структуры требует обязательной проверки полученной схемы для выявления случайных мелких ошибок. Наличие такой проверки в функционале САПР указывает, в том числе, и на неэффективность проверок ошибок «на лету».

Анализ состава технических средств в проекте АСУТП показывает, что большая часть элементов проекта не входит в электрические схемы, более того, такие элементы лишь условно можно отнести к комплектам элементов, входящих в электрические схемы. К ним, например, относятся стенды датчиков, элементы монтажа исполнительных механизмов и трубных обвязок, показывающие приборы и т.д. Организация проекта только вокруг его электрической структуры заведомо лишает проектировщика возможностей осуществления полноценных операций с этими видами технических средств. Обратная ситуация, когда проект АСУТП строится только вокруг гидравлической составляющей системы, тоже является неприемлемой. Единственным действительно эффективным выходом представляется унифицированный подход к организации выбора типовых технических решений и в части электрических структур, и в части функциональных структур других назначений – например, гидравлических как на уровне параметров, так и на уровне комплектов элементов.

**Современная САПР.** Современной можно назвать систему, реализующую свои функции в соответствии с общепринятыми мировыми стандартами работы большого количества программных систем – текстовыми, табличными и графическими редакторами, мультимедийными приложениями и т.д. Это же требование относится к качеству доступа к функциям системы. Сейчас стандартными следует считать настраиваемый интерфейс, наличие функций отмены выполненных операций, устойчивые комбинации горячих клавиш, использования для перемещения

объектов метода Drag&Drop, выпадающие по щелчку правой кнопки мыши меню, применение колесика мыши при масштабировании, настраиваемые профили пользователей и т.д. Отсутствие таких возможностей заведомо усложняет для пользователей процесс освоения и применения системы, что нельзя оправдать «профессионализмом» и узкой специализацией программного продукта.

САПР как экспертная система не заменяет специалиста-проектировщика, а дополняет его, обеспечивая доступ к нужной в определенный момент информации (списку доступных вариантов технических решений) и данных, необходимых для выбора наиболее подходящего варианта, информируя о заведомо неподходящих по имеющимся требованиям технических решениях, решая задачу хранения данных по всем принятым техническим решениям.

Применение САПР не означает отказ от задачи обеспечения проектировщика информацией. Наоборот, это одна из главных задач САПР как системы поддержки принятия решения.

САПР – это не только аббревиатура термина «система автоматизированного проектирования», но и направление развития системы, предполагающее непрерывное качественное движение от автоматизированного к автоматическому проектированию. Этот принцип должен обеспечиваться функциональными возможностями любого программного продукта, претендующего на принадлежность к данному классу программных средств.

**Система для проектировщика.** Нельзя недооценивать возможности адаптации системы к требованиям конкретного проектировщика, привыкшего к определенным процедурам, из которых состоит процесс проектирования в конкретной проектной организации. Было бы очень хорошо, если бы поставщик САПР мог заранее для всех проектных организаций предусмотреть варианты индивидуальных настроек системы, адаптированные к их традициям и сложившимся стандартам проектирования. К сожалению, это практически не возможно. Проектные организации все индивидуальны, несмотря на то, что они могут работать в одной и той же отрасли и, казалось бы, по одним и тем же руководящим материалам. Кроме этого, даже в одной проектной организации каждый специалист должен иметь возможность эффективной организации своего рабочего процесса и места для решения своих профессиональных задач.

Даже если предположить, что на этапе внедрения поставщик САПР сумеет произвести настройку всех аспектов функционирования системы под требования и стандарты проектной организации пользователя, то га-



рантировать, что результат этой работы будет окончательным и не потребует в дальнейшем внесения изменений, невозможно. Как можно за ограниченное и насыщенное время внедрения отразить в системе многолетнюю практику проектирования в данной конкретной организации и предвосхитить возможный рост потребностей?

Поэтому лозунг «наша система соответствует всем руководящим материалам – ГОСТ, ОСТ, СТП и т.д.» – это, скорее, мечта, не имеющая практического значения для конкретной проектной организации. А вот грамотно организованные возможности по адаптации системы силами пользователя – это реальная возможность получить эффективную, профессиональную систему именно для данной проектной организации.

**Эффективная организация проектных работ.** Проектные работы требуют хорошей организации. Это утверждение не нуждается в доказательстве. Любой самый профессиональный коллектив, оснащенный по последнему слову программных средств, будет работать непродуктивно, если нарушается логика ведения проекта. А логика простая: сначала – техническое задание, потом – принципиальное проектирование и монтажное проектирование.

Для эффективного функционирования САПР – сложной программно-информационной системы – нужно осознавать неизбежную необходимость эксплуатации и обслуживания самой САПР. Для этого необходимы квалифицированные специалисты именно по эксплуатации и обслуживанию САПР. Наивно полагать, что с этим справится любой инженер, не занятый другими работами в данный момент. Еще более невероятным будет пример эффективного применения САПР в условиях, когда система обслуживается ненадлежащим образом.

Для эффективной работы САПР необходимо выполнять следующие требования:

- адаптировать систему для применения в данной организации;
- разработать и соблюдать технологию применения данной системы в данной организации;
- обеспечить наличие хорошо подготовленного администратора;
- произвести соответствующую подготовку пользователей системы;
- обеспечить совместную работу администратора и пользователей по развитию системы.

**Направления развития САПР.** Очень важно осознавать, что, когда речь заходит о САПР, информационным развитием системы неизбежно должен заниматься пользователь, так как это естественный, постоянный

процесс. Со стороны разработчиков необходимо обеспечить теоретическую, методическую и техническую возможности этого автономного информационного развития.

Разработка общих направлений и реализация тенденций развития технической части САПР являются основной задачей разработчиков.

В настоящее время востребованными являются следующие ключевые характеристики САПР:

- автоматическое обеспечение информационной целостности проекта, полная интеграция всех документов в проект;
- автоматическое выполнение проектных процедур и операций;
- настраиваемый экспорт/импорт проектных данных, в том числе с обновлением из внешних источников;
- сетевая версия и многопользовательский доступ;
- автоматизация эксплуатации самой САПР.

### **Заключение**

Современное проектирование АСУТП ТЭС – это благодатная тема для обсуждения. Актуальность поиска решения данной задачи только увеличилась в существующих экономических условиях, так как старые ресурсоемкие и малопроизводительные варианты стали еще менее привлекательными для организаций, выполняющих проектные работы. Заказчик крайне заинтересован в том, чтобы сроки проектирования сокращались, а качество проектной документации при этом повышалось.

Кроме этого, привлечение для выполнения работ большого количества высококвалифицированных специалистов при низкой эффективности проектных работ является экономически невыгодным, а простое увеличение количества задействованных проектировщиков низкой квалификации не решает проблему, так как это связано с неизбежным возрастанием трудозатрат на обеспечение качества работ. Нельзя обойти вниманием тот факт, что воспитание грамотного специалиста – достаточно медленный процесс, который традиционно носит экстенсивный характер и во многом опирается на опыт более грамотных коллег.

Таким образом, единственным приемлемым выходом будет внедрение САПР, соответствующих приведенным требованиям, обеспечивающих комплексное проектирование АСУТП ТЭС и выполняющих полную информационную поддержку принятия проектных решений.

**Библиографический список**

1. **Целищев, Е.С.** AutomatiCS 2008: новые решения, новые возможности при проектировании КИПиА / Е.С. Целищев, И.С. Кудряшов, А.С. Угрюмов // САПР и графика. – 2008. – № 6. – С. 28 – 33.
2. **Целищев, Е.С.** Новый подход к построению универсальной структуры информационного обеспечения процесса проектирования систем контроля / Е.С. Целищев, И.С. Кудряшов, А.В. Глянцева // САПР и графика. – 2009. – № 5. – С. 103 – 106.

УДК 681.3.06:621.18:681:511

**УНИВЕРСАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ИНФОРМАЦИОННОГО  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ АСУТП ТЭС**

*Е.С. Целищев, д-р техн. наук, А.В. Глянцева, инж.*

Современные технологии АСУТП ТЭС основаны на понятии жизненного цикла системы управления, включающего все стадии ее создания и эксплуатации, а также на идее «сквозного» проектирования. При этом конечным результатом проектирования считается введенная в эксплуатацию и готовая к сдаче заказчику система управления гарантированной технологической работоспособности.

Одна из наиболее известных разработок в этой области – АДТ-технология [1, 2] и ее программно-информационные реализации (системы AutomatiCS и SchematiCS) – снимают главное ограничение существовавших до настоящего времени технологий проектирования технических систем, связанное с проблемой формирования единой информационной основы проекта, которая координирует выполнение отдельных проектных процедур и операций.

Одной из центральных проблем внедрения и использования АДТ-технологии является построение логической структуры базы, содержащей как декларативные описания технических средств автоматизации различных производителей, так и описания (что особенно важно) логики их выбора в соответствии с требованиями технологического процесса. Помимо этого база содержит описание типовых технических решений, которые представляют собой структуры из элементов с функциональными, логическими и электрическими связями между ними.

База данных и знаний (БДЗ) имеет иерархическую структуру. При этом выбор технического решения или средства осуществляется последовательно, в несколько этапов, и каждый последующий шаг почти всегда зависит от решения, принятого ранее. Это позволяет отсекаать заведомо неподходящие варианты и осуществлять оптимальный выбор технических средств автоматизации. Причем следует отметить, что указанную последовательность почти всегда диктует завод-изготовитель технических средств автоматизации (ТСА). Чаще всего эти последовательности различны у различных производителей (рис. 1).

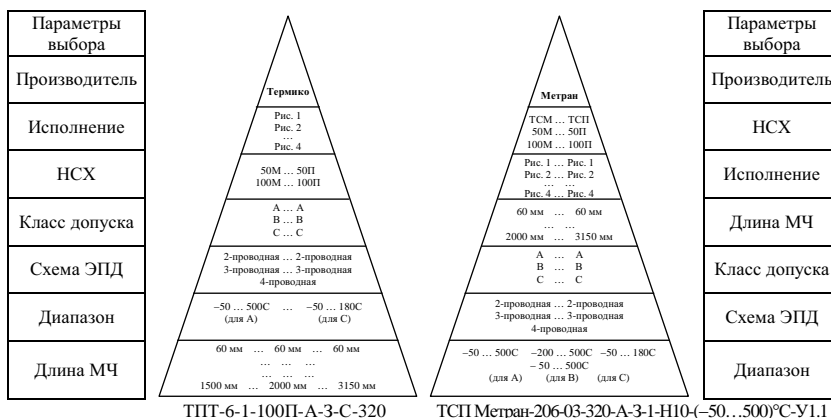


Рис. 1. последовательности определения характеристик термометров сопротивления различных производителей

БДЗ условно состоит из трех областей:

- общая;
- частная;
- универсальная.

Общая область предназначена для формирования технического задания (ТЗ) на проектирование системы контроля и управления. Здесь выбирается вид измерения (измерение температуры, измерение давления и т.д.).

Частная область содержит описание конкретных моделей приборов и средств автоматизации различных производителей. Она используется, когда заранее известен завод-изготовитель. В этом случае последовательность определения параметров ТСА зависит от данных номенклатур отдельных производителей, что не позволяет формализовать процесс описания этих технических средств в БДЗ.

Порядок работы с частной областью сводится к следующему:

- выбирается вид измерения;
- определяется тип и структура ТСА;
- выбирается производитель ТСА;
- осуществляется выбор параметров ТСА.

На заключительных этапах выбора ТСА определяется схема его электрического подключения и способ отображения информации. Также формируются связи между элементами.

Преимущества подобного подхода к работе с БДЗ следующие:

- возможность выбора конкретного технического средства;
- формирование формулы заказа (параметр «Модель»);
- описание имен контактов датчика.

Недостатки:

- необходимость постоянного обновления базы;
- невозможность внесения данных номенклатур всех производителей (поэтому база настраивается в соответствии с требованиями проекта);
- в случае отсутствия ТСА в БДЗ возникает необходимость прерывания процесса проектирования;
- наличие в базе многократно дублирующейся информации.

В универсальной области формируются одинаковые для различных изготовителей параметры канала контроля. Последовательность выбора параметров при этом строго фиксирована и не зависит от производителя (рис. 2). В итоге проектировщик получает набор параметров, которые комплексно характеризуют техническое решение. Кроме того, определяются схемы электрического подключения датчика и способ отображения информации, что позволяет продолжать работу со связями – формировать клеммники, кабели.

Универсальная область разрабатывалась в соответствии с требованиями ГОСТов по соответствующим средствам измерения, а также на основании обобщенного анализа номенклатур ведущих производителей.

Последовательность выбора требований обоснована и определяется перечисленными ниже факторами.

Во-первых, учитываются зависимости между параметрами. Так, выбор градуировки и класса допуска влияет на диапазон измеряемых температур. Таким образом, сначала выбирается параметр, от значения которого зависит выбор следующих за ним параметров.

Во-вторых, учитывается логика построения универсальной области БДЗ. Так, сначала выбираются параметры, которые характерны только

для данного типа технического средства. Например, тип выходного сигнала и наличие индикации для термометров сопротивления с унифицированным выходным сигналом. Затем осуществляется выбор параметров, характерных для всех датчиков температуры (тип присоединения датчика, схема ЭПД и т.д.). Это позволяет избежать дублирования информации в БДЗ.

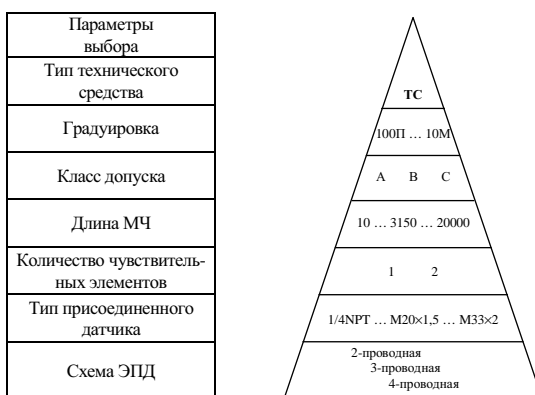


Рис. 2. Последовательность определения характеристик термометра сопротивления

Результатом формирования параметров является техническая спецификация на данное техническое средство (опросный лист). В рамках описываемой технологии проектирования авторами разработаны и согласованы со специалистами различных заводов-производителей ТСА так называемые универсальные технические спецификации по типам средств измерений, которые не зависят от конкретного поставщика оборудования автоматических систем контроля и наиболее полно описывают определенные виды измерения.

Заполненная техническая спецификация фактически является технико-коммерческим предложением на средство измерения и управления. После этого в техническую спецификацию вносится окончательная модель и завод-изготовитель технического средства.

Основные преимущества универсальной области:

- независимость от изменений, производимых в номенклатурах различных заводов-изготовителей;
- формирование технических спецификаций (опросных листов);
- возможность выбора технического средства, абстрагированного от конкретного производителя;

- возможность перехода от универсальной области БДЗ к частной области;
- сокращение сроков внедрения и освоения технологии.

#### Библиографический список

1. **Целищев, Е.С.** AutomatiCS2008: новые решения, новые возможности при проектировании КИПиА / Е.С. Целищев, И.С. Кудряшов, А.С. Угрюмов // САПР и графика. – 2008. – № 6. – С. 28 – 33.
2. **Целищев, Е.С.** Новый подход к построению универсальной структуры информационного обеспечения процесса проектирования систем контроля / Е.С. Целищев, И.С. Кудряшов, А.В. Глязнецова // САПР и графика. – 2009. – № 5. – С. 103 – 106.

УДК 681.3.06:621.18:681:511

### **АУТОМАТИКС 2008: НОВЫЕ РЕШЕНИЯ И НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АСУТП**

*Е.С. Целищев, д-р техн. наук, И.С. Кудряшов, А.В. Глязнецова, инженеры*

**Введение.** Одним из наиболее известных продуктов в линейке программных средств на базе агрегативно декомпозиционной технологии (АДТ) в области автоматизированного проектирования АСУТП является САПР AutomatiCS АДТ.

Много лет система развивалась по пути наращивания методических и функциональных возможностей в соответствии с возрастающими запросами пользователей. Существующая программная платформа уже не могла удовлетворять возросшие требования и не предоставляла возможностей для дальнейшего развития.

Результатом радикальной модернизации стало появление нового программного продукта – AutomatiCS 2008. Рассмотрим характерные особенности данного программно-информационного комплекса.

**Информационное обеспечение проектирования, хранение данных.** AutomatiCS 2008 поддерживает все этапы проектирования: от получения (формирования) задания на разработку технического обеспечения АСУТП до создания проектного решения и выходной проектной документации в виде чертежей, спецификаций, таблиц и т.д.

Физическое хранение проектных данных осуществляется в виде баз данных на основе СУБД Microsoft SQL Server. Для управления базами данных применяются встроенные, дружественные для пользователя средства. С их помощью можно без знания утилит СУБД осуществлять создание, удаление, архивирование и восстановление всех задействованных в AutomatiCS 2008 баз данных.

В AutomatiCS 2008 в полной мере реализуется принцип централизованного хранения проектных данных. Для этого разработана и применяется единая информационная структура среды проектирования в следующем составе:

- база данных модели проекта (виртуальной проектируемой системы);
- база данных структуры документов проекта;
- база данных технических средств и типовых проектных решений;
- база данных параметров.

**База Данных и Знаний.** База данных и знаний – это иерархия описаний типовых проектных (структурных) решений и технических средств. Она является центральным элементом информационной структуры AutomatiCS 2008.

Многообразие приборов и средств автоматизации на рынке поставщиков оборудования АСУТП вынуждает инженера-проектировщика формулировать свои требования к типам технических средств измерений, а не приспособляться под конкретного производителя. Четко и наиболее полно сформулировать свои требования можно с помощью опросного листа или технической спецификации на определенный тип технических средств измерений. Заполняя техническую спецификацию технологическими и техническими данными для определенной позиции, инженер-проектировщик формирует требования по данному каналу контроля согласно параметрам процесса и предполагаемой концепции построения системы контроля и управления. Для этих целей в программе AutomatiCS 2008 разработаны универсальные технические спецификации по типам средств измерений, которые не зависят от конкретного поставщика оборудования АСУТП и наиболее полно описывают определенные виды измерения.

**База параметров.** База параметров содержит описание параметрического множества предметной области проектирования.

В ходе выполнения проектных процедур база параметров позволяет упрощать, ускорять и унифицировать ручной ввод и редактирование информации, сокращать количество ошибок. Наличие единого источника данных для значений параметров в модели проекта, в структуре документов и БДЗ обеспечивает идентичность параметрического множества системы.



**Проектные процедуры и операции.** Автоматизированные процедуры в среде AutomatiCS 2008 включают операции построения модели системы управления (АСУТП) и документирования ее фрагментов. Отдельные операции, такие как разработка модели (синтез) и выпуск документов, могут чередоваться.

Техническим заданием на проектирование является перечень каналов контроля, каналов управления приводами и т.д., т.е. перечень задач управления. Элементы могут быть последовательно добавлены в проект или импортированы из внешних источников – таблица Microsoft Excel, Microsoft Access, Plant 4D и др. Аналогичным путем данные об элементах модели можно экспортировать.

Дальнейшую работу с моделью можно разделить на два этапа: построение принципиальной модели и доработка принципиальной модели до монтажной. Разделение на этапы, в рамках проекта, является условным, что позволяет выполнять работы асинхронно для разных частей проекта.

Выполнение первого этапа осуществляется в автоматизированном режиме, а при наличии необходимого объема исходных данных – автоматически в окнах декомпозиционного и агрегативного синтеза (рис. 1). В процессе синтеза пользователь имеет возможность просмотра дополнительной информации по вариантам в виде документов формата jpg и pdf.

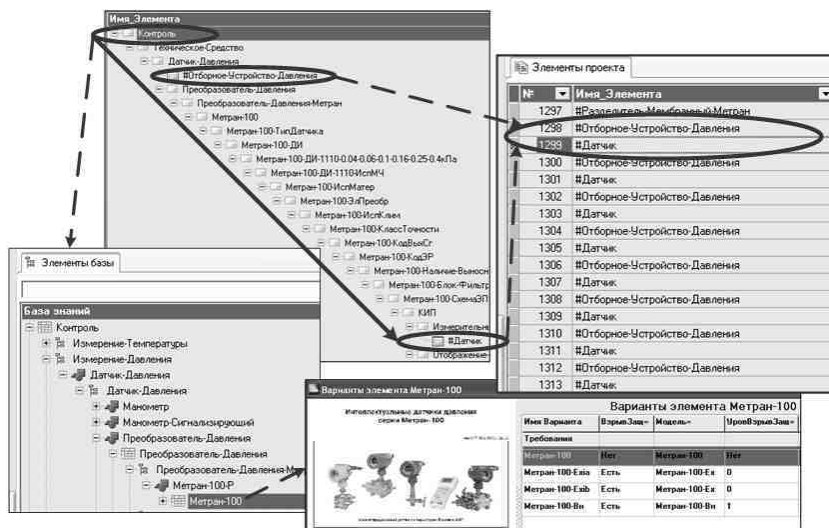


Рис. 1. Построение модели проекта

Второй этап связан с выполнением операций монтажа – врезка клеммников, соединительных коробок, кабелей. В AutomatiCS 2008 предусмотрено два способа выполнения этих операций:

а) пакетное формирование – от элементов (клеммники монтажных единиц щитов), от связей (промежуточные клеммники, клеммники кроссовых панелей, кабели);

б) во встроенном графическом редакторе.

Для построения большого числа типовых элементов монтажа (клеммников, кабелей) наиболее предпочтительным является способ пакетного (автоматического) выполнения монтажных операций с последующим редактированием, по необходимости, полученных элементов (клеммников, кабелей) в графическом редакторе структуры модели.

Использование макросов для воспроизведения часто повторяющихся последовательностей действий пользователя является действенным способом увеличения производительности выполнения проектных работ. Для запуска макросов может применяться как привязка макроса к пункту меню, так и к кнопке на панели инструментов.

**Структура документов (документирование).** В рамках принятой концепции централизованного хранения проектных данных разработана структура документов проекта (рис. 2).

В ней могут храниться:

а) нормативно-техническая и разрешающая документация;

б) конструкторско-технологической документация по проекту;

в) шаблоны документов;

г) вспомогательная документация по проекту в различных форматах.

Кроме хранения проектных документов в одной базе данных структура документов проекта позволяет централизованно хранить исходные шаблоны документов, документы и их версии, а также правила вывода документов. Наличие возможности для любого документа хранить не только актуальную версию, но и предшествующие ей версии обеспечивает пользователя необходимыми данными для отслеживания изменений в проектных документах.

Для пользователя структура представлена в виде дерева, где документы и шаблоны являются эквивалентами файлов, распределенными по соответствующим каталогам. Список каталогов может создаваться и редактироваться самим пользователем, а может быть загружен из шаблона.

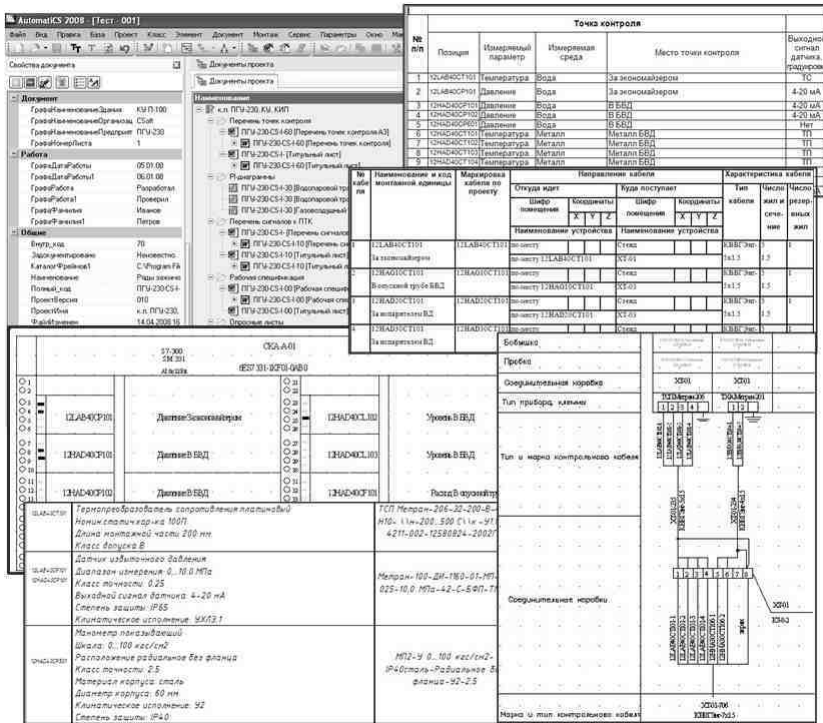


Рис. 2. Структура документов проекта

Средствами AutomatiCS 2008 может быть выполнено подавляющее большинство проектных документов марки «Автоматизация» при проектировании технического обеспечения АСУТП:

- схемы трубопроводов и измерений (P&I-диаграммы, функциональные схемы автоматизации, фрагменты видеодиаграмм);
- перечни точек контроля;
- перечни электроприводов запорной и регулирующей арматуры;
- полные принципиальные схемы питания, контроля, АСР, дистанционного управления;
- перечни входных и выходных сигналов контроллеров;
- рабочие и заказные спецификации на технические средства автоматизации, сводные ведомости оборудования, расходных и монтажных материалов;

- схемы заполнения сборок задвижек (задание заводу на сборки задвижек);
- схемы подключения кабелей к рядам зажимов щитов, пультов, сборок;
- схемы кабельных и трубных проводов (монтажно-установочные схемы датчиков);
- монтажно-функциональные схемы каналов управления (кабельные развертки);
- задание заводам на низковольтные комплектные устройства:
  - общие виды щитов и пультов;
  - спецификации на щиты;
  - принципиальные схемы щитов;
  - монтажно-коммутационные схемы щитов;
  - перечни надписей в рамках;
- кабельные журналы, ведомости и спецификации на кабельную продукцию;
- сметное задание на монтажные работы.

УДК 621.039

## **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ РЕАКТИМЕТРА РЕАКТОРА ВВЭР-1000**

*В.К. Семенов, д-р техн. наук, Д.Н. Магницкий, инж.*

В настоящее время кафедра АЭС ИГЭУ располагает полномасштабным тренажером АЭС с ВВЭР-1000 и компьютерным функциональным аналитическим полномасштабным тренажером (ФАТ). Тот и другой позволяют симулировать физические эксперименты на энергоблоках с участием всего оборудования первого и второго контура. Роль таких экспериментов в учебном процессе чрезвычайно высока. Они позволяют изучить не только принцип действия отдельных аппаратов, но и исследовать их взаимные связи.

В отличие от обычного тренажера, ФАТ не содержит аппаратуры, требующей постоянного обслуживания, поэтому работа на нем позво-

ляет симулировать различные процессы на энергоблоке без риска повреждения материальной базы тренажера. Недостатком такого тренажера является отсутствие в натурном варианте блочного щита управления и отсутствие ощущения реальности происходящего. Для плодотворного использования этого тренажера как в учебном процессе, так и при подготовке оперативного персонала действующих энергоблоков он должен быть оснащен альбомом нейтронно-физических характеристик топливной загрузки реактора [1]. В отличие от действующего энергоблока или аналогового тренажера, ФАТ дает уникальную возможность экспериментировать с различными методиками теоретического обоснования физических экспериментов и способами их реализаций. Поэтому поиск оптимальных методик и составление альбома нейтронно-физических характеристик указанного тренажера представляют собой важную научно-практическую задачу.

Поскольку ФАТ не оснащен моделью реактиметра, то нами разработана компьютерная программа, реализующая обращенное решение уравнений кинетики реактора в одnogрупповом приближении и с учетом шести групп запаздывающих нейтронов. В рамках этого подхода реактивность рассчитывалась по уравнению реактора с сосредоточенными параметрами [2]:

$$\frac{\rho(t)}{\beta} = \frac{\tau}{\beta} \frac{d \ln N(t)}{dt} + \frac{1}{N(t)\beta} \sum_1^6 \beta_i \int_0^t \frac{dN(t')}{dt'} \exp[\lambda_i(t'-t)] dt'. \quad (1)$$

Здесь  $\beta = \sum_1^6 \beta_i$  – сумма всех долей запаздывающих нейтронов;  $\tau$  – время жизни одного поколения мгновенных нейтронов;  $N$  – мощность реактора;  $\lambda_i$  – постоянная распада ядер-предшественников  $i$ -й группы.

В качестве примера на рис. 1 приведена экспериментальная зависимость мощности реактора от времени, на основе которой рассчитаны зависимости  $\rho/\beta$  и период реактора  $T$  в функции времени (рис. 2, 3). Проверочный расчет мощности по полученной реактивности (рис. 1, сплошная кривая) подтверждает точность работы программы. Сравнение шестигруппового реактиметра с одnogрупповым показывает существенное расхождение в их показаниях, поэтому следует пользоваться шестигрупповым реактиметром.

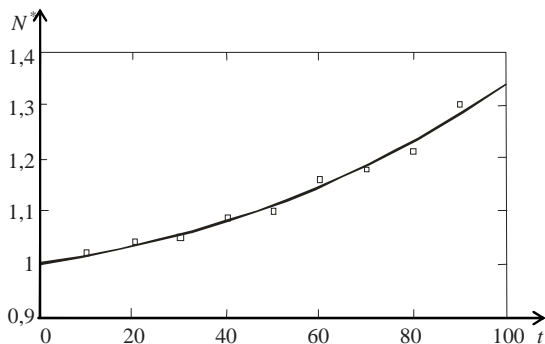


Рис. 1. Зависимость мощности реактора (в о. е.) от времени

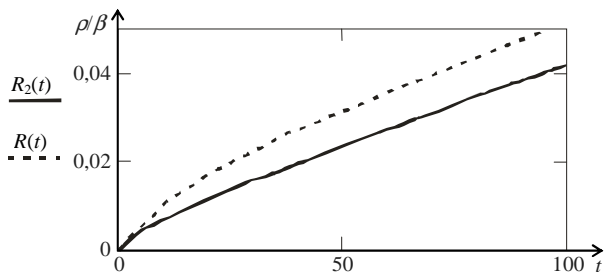


Рис. 2. Зависимость реактивности  $\rho/\beta$  от времени: сплошная линия – шестигрупповое решение; пунктирная линия – одногрупповое приближение

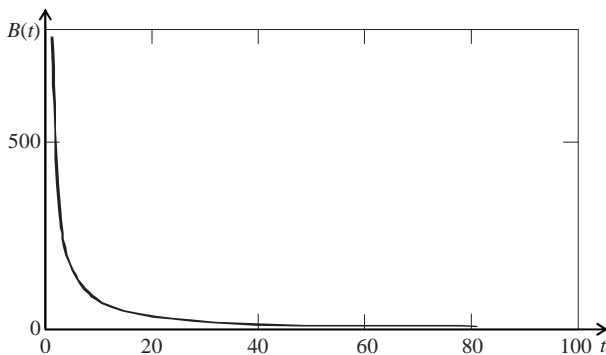


Рис. 3. Зависимость периода реактора от времени

Библиографический список

1. РД ЭО 0151-2004. Методики расчета нейтронно-физических характеристик по данным физических экспериментов на энергоблоках атомных электростанций с реакторами ВВЭР-1000. – Концерн «Росэнергоатом», 2005.

2. Казанский, Ю.А. Экспериментальные методы физики реакторов / Ю.А. Казанский, Е.С. Матусевич. – М.: Энергоатомиздат, 1984.

УДК 518.04

**СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ  
ИМПУЛЬСНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ**

*В.Д. Таланов, канд. техн. наук, С.В. Таланов, инж.*

В настоящее время широкое распространение получили компьютерные тренажеры технических систем управления, которые моделируют объект управления и технические средства автоматизации. Модели технических средств автоматизации должны быть адекватными по функциям преобразования физическим аналогам. Одной из проблем при разработке программных продуктов тренажеров является реализация импульсных регуляторов, построенных по структуре ПДД<sup>2</sup>-преобразование, широтно-импульсных модуляторов (ШИМ) и исполнительного механизма постоянной скорости.

Для этой структуры был разработан алгоритм и программный модуль широтно-импульсного модулятора [1, 2]. Ниже приведены результаты сравнительных исследований модели импульсного регулятора с встроенным программным модулем ШИМ и алгоритма импульсного регулятора РИМ контроллера Ремиконт Р-310.

В модели реализованы алгоритм ПДД<sup>2</sup>-преобразования, алгоритм ШИМ и алгоритм исполнительного механизма постоянной скорости вращения.

Схема стенда приведена на рис. 1.

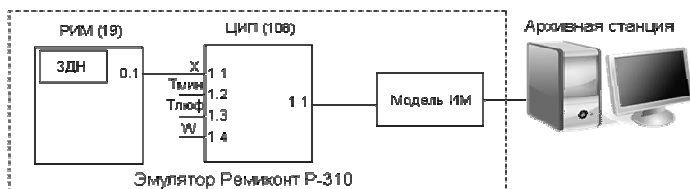


Рис. 1. Схема стенда: РИМ – алгоритм импульсного регулятора; ЦИП – алгоритм цифрового импульсного вывода

При исследованиях на модели и на стенде регистрировались переходные функции импульсного ПИ-регулятора при изменении параметров настройки.

На рис. 2 показан интерфейс компьютерной модели, а на рис. 3 пример переходной функции алгоритма РИМ, полученной на стенде.

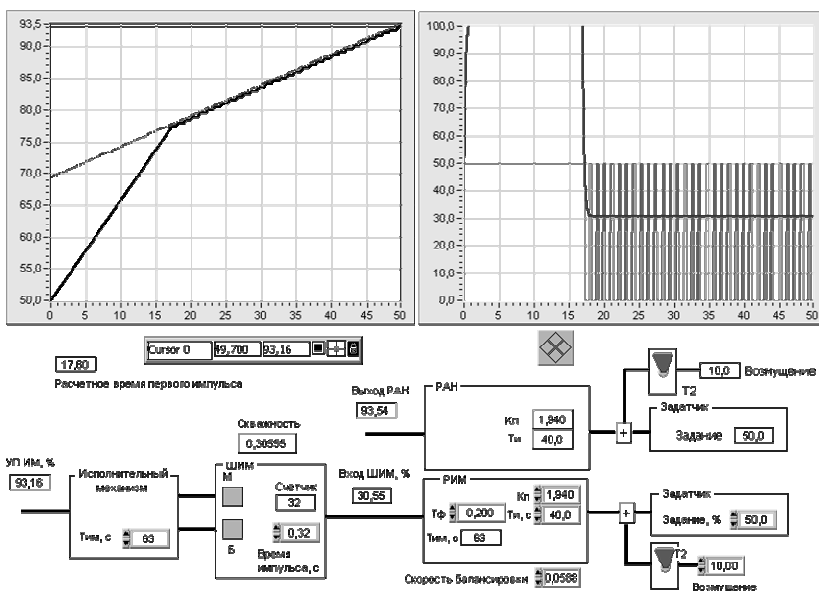


Рис. 2. Интерфейс программы компьютерной модели импульсного регулятора

Для контроллера Ремиконт Р-310 передаточная функция импульсного ПИ-регулятора имеет вид

$$W_p(p) = \frac{\mu(p)}{\varepsilon(p)} = K_n \left[ 1 + \frac{1}{T_u p} \right],$$

где  $K_n$  – коэффициент пропорциональности, %/%;  $T_u$  – время интегрирования, с.

При  $\varepsilon = \varepsilon_0 = \text{const}$  для интегральной составляющей получим

$$\frac{\Delta\mu}{\Delta t} = \varepsilon_0 \cdot \frac{K_n}{T_u}.$$



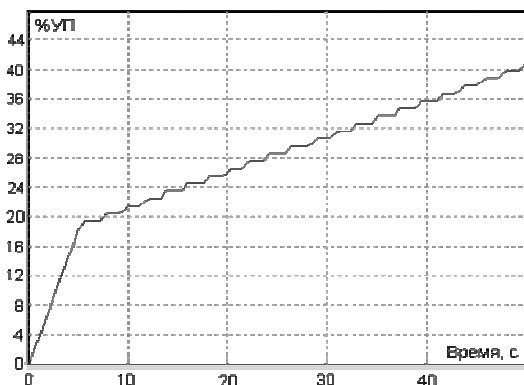


Рис. 3. Переходная функция алгоритма РИМ контроллера Р-310

Выходной сигнал ПД-преобразования

$$\varepsilon_1 = T_{им} \cdot K_n \left( \frac{\varepsilon}{T_u} + \frac{d\varepsilon}{dt} \right),$$

где  $T_{им}$  – время полного хода исполнительного механизма.

Скважность импульсов

$$\gamma = \frac{\varepsilon_1}{100}.$$

Тогда при  $\varepsilon = \varepsilon_0 = \text{const}$  получим

$$\gamma = \frac{1}{V_{им}} \cdot \frac{K_n \cdot \varepsilon_0}{T_u}, \text{ или } \gamma = \frac{1}{V_{им}} \cdot \frac{\Delta\mu}{\Delta t},$$

где  $V_{им}$  – скорость исполнительного механизма.

Период следования импульсов

$$T = \frac{t_{u2}}{\gamma} = \frac{\Delta t}{N_{вкл}},$$

где  $t_{u2}$  – минимальная длительность импульса;  $N_{вкл}$  – количество включений исполнительного механизма за время  $\Delta t$ .

При обработке экспериментальных данных применялись два способа:

1) определяется экспериментальная скажкость

$$\gamma_{\varepsilon} = \frac{1}{V_{им}} \cdot \frac{\Delta\mu}{\Delta t}$$

и сравнивается с расчетной

$$\gamma_p = \frac{1}{V_{им}} \cdot \frac{K_n \cdot \varepsilon_0}{T_u};$$

2) подсчитывается количество включений  $N_{вкл}$  за определенное время  $\Delta t$ , определяется экспериментальное значение периода следования импульсов

$$T_{\varepsilon} = \frac{\Delta t}{N_{вкл}}$$

и сравнивается с расчетным значением

$$T_p = \frac{t_{u2}}{\gamma}.$$

Средняя относительная погрешность по скажкости результатов экспериментов, проведенных на стенде, составила 1 %, а средняя относительная погрешность по скажкости результатов экспериментов, проведенных на модели, составила 0,3 %.

Средняя относительная погрешность по периоду включений результатов экспериментов, проведенных на стенде, составила 2 %, а средняя относительная погрешность по периоду включений результатов экспериментов, проведенных на модели, составила 1,45 %.

В обеих методиках получены сопоставимые результаты.

Таким образом, программный модуль разработанного алгоритма широтно-импульсного модулятора может применяться при моделировании системы автоматического регулирования с импульсным регулятором.

#### Библиографический список

1. Таланов, С.В. Разработка и исследование алгоритма широтно-импульсного модулятора в среде LabVIEW / С.В. Таланов // Теория и практика построения и функционирования АСУ ТП: тр. междунар. науч. конф. CONTROL-2008. – Москва, 2008.

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программный модуль «Широтно-импульсный модулятор». Правообладатель Таланов С.В. – № 2009612419; заявл. 18.03.09; зарег. 14.05.09.

УДК 681.51:621.311.22

## **ОПЫТ СОЗДАНИЯ ТРЕНАЖЕРОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ И ОТРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЙ НАЛАДКИ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ**

*В.Д. Таланов, А.М. Демин, С.Б. Плетников, кандидаты техн. наук*

Более 10 лет на кафедре АТП ИГЭУ планомерно развивается научное направление «Разработка стендов и компьютерных тренажеров для наладки систем автоматического регулирования» (рук. В.Д. Таланов). С 2001 г. создавались и успешно эксплуатировались компьютерные тренажеры второго поколения, ограничения в работе которых связаны со свойствами ЭВМ, для которых они разрабатывались, и прежней версии среды графического программирования LabVIEW.

Разработка тренажеров третьего поколения основана на результатах научных исследований и опыте практических работ последних лет по созданию технологии конструирования программно-аппаратных комплексов [1 – 3]. В составе сетевой архитектуры автоматизированных рабочих мест для работы с многофункциональным программным комплексом обучающих систем по наладке регуляторов теплоэнергетического оборудования в 2008 – 2009 гг. разработаны и разрабатываются новые тренажеры:

- 1) «Наладка системы автоматического регулирования питания барабанного котла. Регулирующий прибор РП4-У»;
- 2) «Наладка системы автоматического регулирования питания барабанного котла. Регулирующий прибор ПРОТАР»;
- 3) «Наладка системы автоматического регулирования температуры перегретого пара. Комплекс АКЭСР-2»;
- 4) «Наладка системы автоматического регулирования температуры перегретого пара. Регулирующий прибор ПРОТАР»;
- 5) «Наладка системы автоматического регулирования расхода общего воздуха. Комплекс АКЭСР-2»;
- 6) «Наладка системы автоматического регулирования расхода общего воздуха. Регулирующий прибор ПРОТАР»;
- 7) «Наладка системы регулирования горения топлива в энергетическом котле. Комплекс АКЭСР-2».

В тренажерах усилен акцент на реализацию основной функции: изучение и отработка технологий наладки автоматических систем регулирования (АСР).

В тренажерах получили развитие прежние, а также новые программные, методические и технологические компоненты, обеспечивающие управление количеством и качеством получаемых теоретических знаний, а также практических навыков работы с техническими средствами автоматизации и современными технологиями наладки микропроцессорных систем.

Новый способ организации вычислительных процессов и отображения полученных результатов на пользовательских интерфейсах обеспечивает минимизацию рабочих циклов расчетов и соответственно максимальную динамическую точность. Это позволило применить три способа управления временем при выполнении лабораторных работ: ускорение и замедление расчетов с текущей индикацией результатов вычислений, вывод результатов без текущей индикации (максимальная скорость выполнения работ).

Сокращение времени выполнения работ также достигается применением специальных окон для контроля промежуточных параметров, что позволяет непрерывно контролировать важнейшие для наладки технологические показатели системы и в программируемом регулирующем приборе не тратить время на обегание необходимых параметров с их вызовом на цифровое табло прибора.

Получение протокола испытаний обеспечивает контроль качества работы АСР и автоматизированную оценку результатов работы при наладке системы, определяя направление дальнейших работ по ее настройке.

Дополнительный контроль качества работы обеспечивает комплекс графиков на входе и выходе системы.

Файлы встроенной интерактивной методической поддержки обеспечивают теоретическую подготовку и практическое выполнение работ.

В соответствии с новыми возможностями современных вычислительных и программных средств, уточненными свойствами используемой технологии, современными требованиями к качеству учебного процесса и возможностями управления этим качеством (включая широкое внедрение прогрессивных инновационных технологий), разрабатываемые программы можно характеризовать следующими признаками:

- применен системный подход, обеспечивающий сочетание унифицированных решений по организации архитектуры тренажеров с индивидуальными технологическими и программно-аппаратными свойствами объектов управления и средств автоматизации локальных и групповых АСР;
- сформированы новые свойства тренажеров, обеспечивающие реализацию функции изучения и отработки технологий наладки АСР теплоэнергетического оборудования ТЭС;

- организованы вычислительные процессы в соответствии с современными возможностями сетевых СВТ;
- реализованы программные, методические и технологические средства адаптивного управления количеством и качеством знаний обучаемых;
- разработаны унифицированные пользовательские интерфейсы;
- созданы модели АСП в среде LabVIEW;
- проведено модульное конструирование комплектов программ;
- подготовлено встроенное интерактивное методическое обеспечение;
- обеспечена работа тренажеров как в локальном (персональном), так и в сетевом (групповом) режиме.

Технологические свойства комплекса тренажеров, предназначенных для наладки АСП, а также контроля и управления этими процессами наладки, в первую очередь нашли отражение в сформированных рабочих интерфейсах.

При входе в тренажер на титульной заставке (рис. 1) необходимо ввести номер варианта учебной задачи (сформированы задания для различных нагрузок котла и времени полного перемещения исполнительного механизма постоянной скорости).

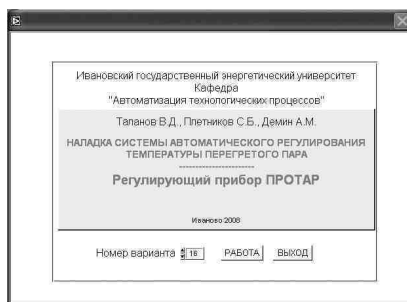


Рис. 1. Титульная заставка тренажера «Наладка системы автоматического регулирования температуры перегретого пара. Регулирующий прибор ПРОТАР»

При нажатии клавиши «РАБОТА» происходит обращение к основному интерфейсу, который имеет несколько полей и снизу группу основных клавиш и контроллеров управления работой тренажера. Рассмотрим интерфейс тренажера «Наладка системы автоматического регулирования температуры перегретого пара. Регулирующий прибор ПРОТАР» (рис. 2).

В верхнем поле слева отображаются дата, номер варианта и значение нагрузки котла.

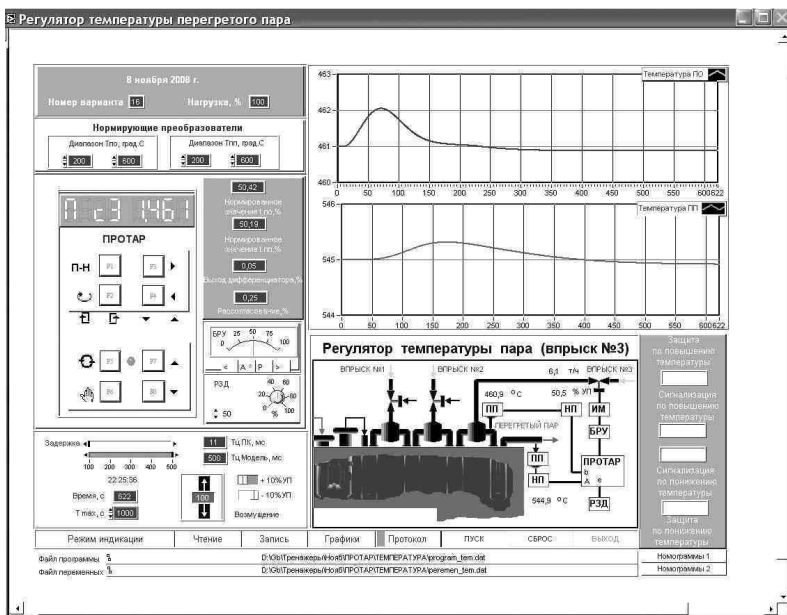


Рис. 2. Основной рабочий интерфейс тренажера «Наладка системы автоматического регулирования температуры перегретого пара. Регулирующий прибор ПРОВАР»

У тренажеров по наладке регулятора температуры ниже задаются диапазоны работы измерительных преобразователей, которые работают в комплекте с термопарами, формируя унифицированные сигналы по температуре пара за пароохладителем и пароперегревателем. Изменяя диапазоны (свойства измерительных каналов и каналов регулирования), формируются вариации заданий по каждому варианту, т.е. в целом в составе тренажера сформировано более 100 заданий на лабораторную работу или экзаменационную задачу.

Для отработки задач технологии наладки АСР на входе и выходе системы ведется контроль и запись величин. На мнемосхеме и в группе формируемых графиков – указатель положения исполнительного механизма и расход воды, температуры за пароохладителем (ТПО) и пароперегревателем (ТПП) (промежуточный и выходной параметры выведены на основной интерфейс – верхний и нижний тренды).

Особенностью данного тренажера является отработка технологии формирования заданных диапазонов изменения входных нормированных

сигналов ТПО (на входе Д-звена) и ТПП. Индикаторы величин этих параметров, а также сигналов на выходе дифференциатора и рассогласования (на входе ПИД-звена) обеспечивают контроль основных параметров, характеризующих работу микропроцессорной АСР. Непрерывный контроль этих параметров обеспечивает исключение постоянно требуемой процедуры обегания для их вывода на индикатор ПРОТАРа в процессе наладки АСР.

Для установки требуемого масштаба времени цикла «Тц Модель» работы тренажера над линейкой функциональных клавиш находится контроллер управления зеленого цвета (с контролем его величины).

Контроллер управления задержкой красного цвета, расположенный над ним, обеспечивает возможность замедления отображаемых процессов. Например, для отображения и работы в режиме реального времени (для работы с малоинерционными процессами) можно установить «Тц ПК» = «Тц Модель» = 100 мс.

«Время» – индикация отсчета времени с момента последнего нажатия кнопки «СБРОС» (под часами).

На поле мнемосхемы АСР ведется индикация значений основных технологических параметров.

Временные диаграммы (тренды) обеспечивают оперативный контроль за ходом выполнения работы.

Назначение клавиш (в нижнем ряду слева направо):

«Режим индикации» – ускоренный расчет переходных процессов с выводом результата без их текущего отображения; время для расчета можно задать: задатчик  $T_{max}$  расположен над клавишей;

«Чтение» – ввод программы и переменных (адреса и имена загруженных файлов отображаются ниже);

«Запись» – запись программы и переменных (для обеспечения возможности продолжения последующей работы со своими данными);

«Графики» – для получения комплекса временных процессов по параметрам системы; в тренажере для наладки регулятора температуры это, соответственно, температуры за пароперегревателем и парохладителем, расход воды на впрыск и нагрузка (рис. 3);

«Протокол» – для получения протокола испытаний: обеспечивает контроль качества работы АСР и автоматизированную оценку результатов работы при наладке системы (рис. 4);

«СТОП» – «ПУСК» – для остановки процессов и их последующего продолжения (клавиша «СТОП» блокирует работу ряда функциональных элементов и не позволяет продолжать работу до тех пор, пока не будет нажата клавиша «ПУСК»);

«СБРОС» – для возвращения параметров модели технологического процесса в исходное состояние (параметры настройки функциональных блоков сохраняются, БРУ переводится в ручной режим управления);

«ВЫХОД» – для перехода на титульную заставку (для смены варианта или выхода из программы).

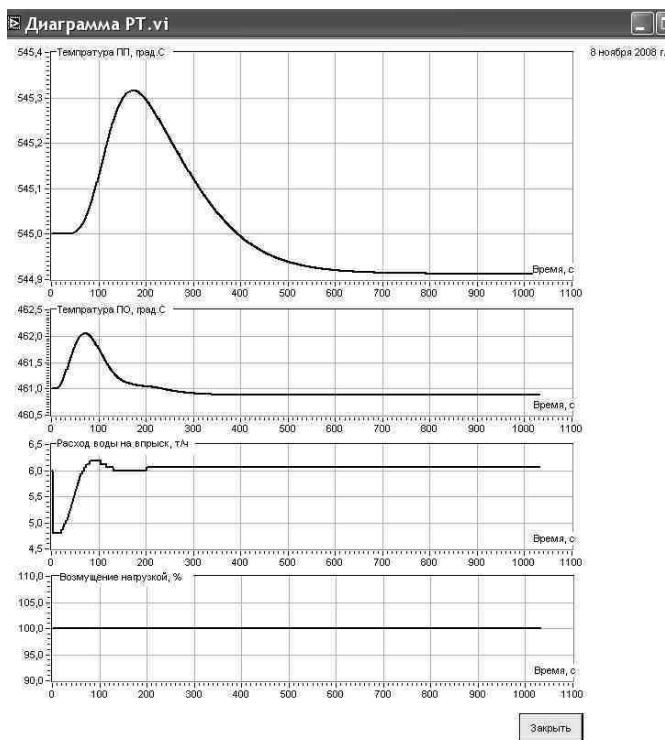


Рис. 3. Рабочее окно «Графики» тренажера «Наладка системы автоматического регулирования температуры перегретого пара. Регулирующий прибор ПРОТАР»

Специальные клавиши «Номограммы 1» и «Номограммы 2» обеспечивают вывод рабочих окон с номограммами Сибтехэнерго (с соответствующими кнопками и органами управления этими номограммами).

Кроме того, на рабочих полях основного интерфейса имеется несколько активных элементов:



ПРОТАР с набором функциональных клавиш программирования, контроля и управления (или функциональные блоки серии АКЭСР-2 с параметрами настройки);

БРУ с кнопками управления режимом работы РК: «А» и «Р» (автоматический или ручной), а также «<<» и «>>» (ручное закрытие или открытие РК);

«Задатчик» – внешний задатчик 0 – 100 % или –5 – +5 %, с помощью которого можно менять задание регулятору;

«+10 % УП» и «–10 % УП» – ключи для имитации ступенчатых внутренних возмущений по положению РК (с автоматическим сбросом таймера трендов и графиков);

«Нагрузка» – поле изменения величины нагрузки котла с помощью стрелок «↑» и «↓».

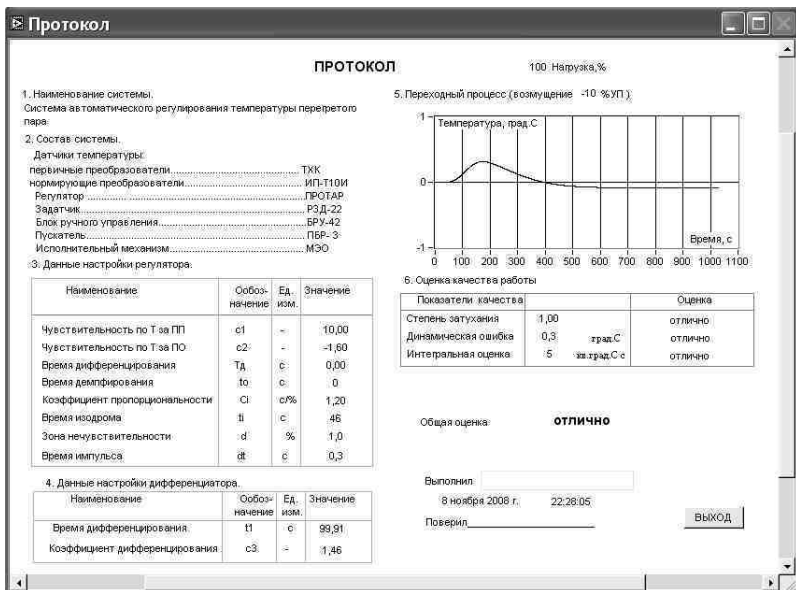


Рис. 4. Рабочее окно «Протокол» тренажера «Наладка системы автоматического регулирования температуры перегретого пара. Регулирующий прибор ПРОТАР»

Срабатывание сигнализации (первые уровни уставок) и аварийных защит (вторые уровни уставок) показывают индикаторы и соответствующие надписи справа внизу.

В предыдущих версиях тренажеров уделялось внимание не только функциональной и параметрической адекватности моделируемых средств регулирования, но и их изображению (визуально-графическому соответствию). Это обеспечивало унификацию решений для разработки тренажеров по изучению средств автоматизации и их применению для наладки АСР. Однако комплексирование специальных функций тренажеров для наладки систем регулирования, особенно микропроцессорных систем, потребовало разработки специальных рабочих интерфейсов с возможностью совместной параметрической настройки нескольких функциональных блоков без обращения к вспомогательным окнам их настройки, которые блокируют и ограничивают системные возможности программного комплекса.

Новый способ организации вычислительных процессов и отображения полученных результатов на пользовательских интерфейсах обеспечивает минимизацию рабочих циклов расчетов и, соответственно, максимальную динамическую точность. Это позволило применить три способа управления временем при выполнении лабораторных работ: ускорение и замедление расчетов с текущей индикацией результатов вычислений, вывод результатов без текущей индикации (максимальная скорость выполнения работ).

Сокращение времени также достигается применением специальных окон для контроля промежуточных параметров в программируемом регулирующем приборе, что позволяет не тратить время на обегание необходимых параметров с их вызовом на цифровое табло прибора.

В результате в несколько раз сократилось время выполнения технологических работ при получении откликов систем на тестовые возмущения.

При разработке нового программного комплекса проведен анализ и внесены необходимые изменения в модели технологического оборудования и средств автоматизации. Особое внимание уделено созданию и расширению библиотек моделей и возможности оперативного изменения параметров в объектах регулирования и ТСА с помощью специальных средств пользовательских интерфейсов. Выполнена проверка и внесены необходимые изменения в структуры элементов и диапазоны изменения параметров. Это позволило расширить функции тренажеров и вариативность заданий при обеспечении необходимой логической и параметрической адекватности моделей.

С учетом новых решений и расширенных возможностей тренажеров разработан комплекс учебно-методических интерактивных материалов,

которые можно применять как в режиме реального времени при выполнении лабораторных работ совместно с тренажерами, так и локально, без них, при подготовке к лабораторным работам, в том числе, в режиме дистанционного доступа к сайту кафедры АТП через Интернет.

Работы имеют комплексный характер и следующие цели:

- изучение теоретических основ построения АСР теплоэнергетических котлов;
- освоение экспериментальных способов оценки характеристик объекта и элементов АСР;
- освоение расчетных способов определения параметров настройки и экспериментальных методов наладки АСР;
- освоение практических приемов работы с техническими средствами автоматизации;
- изучение особенностей микропроцессорных средств автоматизации, связанных с дискретизацией параметров во времени и по уровню, и влияния программных решений на качество работы системы;
- изучение оригинальных способов улучшения качества работы АСР при детерминированных возмущениях;
- приобретение практических навыков работы с тренажерами для наладки АСР энергетического оборудования;
- отработка навыков адаптивного управления качеством своего обучения с помощью специальных технических компонент тренажера.

Особенностью выполнения работ с применением микропроцессорных средств автоматизации является идентификация свойств вычислительного устройства: 1) с помощью пошаговой процедуры прочитать программу, введенную в ПРОТАР, записать ее в виде таблицы функций и параметров, а также изобразить в виде структурной схемы; 2) определить, через какие входы заведены внешние параметры в ПРОТАР, и представить их в виде таблицы с указанием соответствующих этим входам масштабных коэффициентов.

Новый программный комплекс характеризуется следующими показателями:

1) наукоемкостью, которая основана как на применении известных научных достижений, так и на вновь сформированных результатах по совершенствованию технологий наладки систем автоматизации и способов управления качеством формируемых знаний обучаемых в процессе овладения этими технологиями;

2) комплексной технологичностью, которая сформирована путем взаимодействия средств программного, методического, технологиче-

ского, технического, математического, логического, организационного и другого назначения, формирующих особые признаки архитектуры тренажерной системы;

3) управлением качеством обучения, которое в составе комплекса имеет различные технические компоненты адаптивного управления временем, контроля текущих значений параметров системы, результатов принятия интеллектуальных решений и выполняемых действий (оценка теоретической подготовки и практической работы), взаимодействия входных и выходных параметров системы «человек – машина». Эти компоненты позволяют обучаемому организовать самоконтроль и управление ходом своей работы, а преподавателю – контроль за ходом лабораторных работ, качеством промежуточных и конечных результатов;

4) наличием оптимизационных компонент, которые вычисляют показатели качества работы настраиваемых систем и дают возможность минимизировать время выполнения учебных задач;

5) вариативностью заданий, которая обеспечивает овладение технологиями наладки в условиях различных свойств как объектов управления, так и элементов систем автоматизации, обеспечивающих формирование управляющих воздействий;

6) применением моделей программных средств управления технологическими процессами, которые идентичны имеющимся на кафедре АТП техническим средствам и адекватны их свойствам;

7) наличием встроенной интерактивной методической поддержки, которая обеспечивает теоретическую и практическую подготовку будущих дипломированных инженеров по изложенным проблемам технологической наладки систем регулирования теплоэнергетическими процессами.

#### **Библиографический список**

1. **Таланов, В.Д.** Модульное конструирование при разработке комплексов для наладки систем автоматического регулирования / В.Д. Таланов, С.Б. Плетников, А.М. Демин // Вестник ИГЭУ. – 2007. – № 4. – С. 72 – 75.

2. **Технология** конструирования программно-аппаратных комплексов для наладки систем автоматического регулирования теплоэнергетического оборудования электростанций / Плетников С.Б. // Свидетельство об отраслевой регистрации разработки № 8442. – Госкоорцентр, ОФАП, 5.06.2007.

3. **Плетников, С.Б.** Разработка программно-аппаратных комплексов для наладки и стендовых испытаний автоматических систем регулирования в теплоэнергетике: автореф. дис... канд. техн. наук / С.Б. Плетников; Федеральное агентство по образованию, ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново, 2008. – 20 с.

УДК 681.3

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ И КОМПОНОВОК КОТЛОВ-УТИЛИЗАТОРОВ ПГУ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

*Б.Л. Шельгин, канд. техн. наук, А.В. Мошкарин, д-р техн. наук,  
Н.С. Асташов, инж.*

Внедрение в учебный процесс ранее разработанных автоматизированных обучающих систем показало их эффективность и учебно-методическое совершенство в условиях оперативного изучения котлоагрегатов ТЭЦ и отопительных котельных [1 – 3]. Учитывая повышенные требования высшей школы к подготовке эксплуатационного персонала электростанций, на кафедре ТЭС ИГЭУ разрабатывается программный продукт, предназначенный для изучения конструкций и компоновок поверхностей нагрева различных вариантов котлов-утилизаторов (КУ) ПГУ ТЭС. Материал является отдельным модулем выполненного в виде автоматизированной обучающей системы компьютерного учебника «Котлы-утилизаторы парогазовых установок ТЭС».

Рассматриваемый автоматизированный учебный курс (АУК) включает в себя следующие обучающие модули:

- общая характеристика КУ ТЭС;
- особенности элементов КУ;
- варианты конструкций КУ электростанций.

В разделе «Общая характеристика КУ ТЭС» представлены общие особенности парогенераторов, которые используют в составе работающих ПГУ ТЭС [4]. Показано изменение температуры и давления рабочей среды и теплоносителя применительно к контурам высокого и низкого давлений.

Приводятся зависимости для расчета тепловосприятия КУ, значений КПД котла брутто  $\eta_{ку}$  и коэффициента утилизации  $\eta_{утил.}$  С использованием [5] расчетов установлено, что при температурах газов на входе в КУ  $t_{ку} = 400 - 600$  °С и понижении температуры уходящих из КУ газов от 120 до 90 °С КПД КУ брутто возрастает в пределах 0,76 – 0,85 (рис. 1). При этом увеличение температуры на входе в котел-утилизатор на 200 °С повышает значение  $\eta_{ку}$  на 3 – 5 %.

КПД утилизации теплоты представляет отношение тепловосприятия поверхностей нагрева к располагаемой теплоте топлива, сжигаемого в камере сгорания ГТУ. При температуре газов на входе в ГТУ

$\vartheta'_{zm} = 1100 - 1300$  °С и  $\vartheta^{6x}_{ky} = 500 - 600$  °С в случае снижения температуры уходящих из КУ газов от 120 до 90 °С коэффициент утилизации теплоты  $\eta_{утил}$  возрастает в пределах 0,39 – 0,68 (рис. 2). В случае увеличения температуры на входе в КУ на 100 °С значение  $\eta_{утил}$  повышается на 20 – 25 %.

В разделе «Особенности элементов КУ» приводится классификация агрегатов:

- по видам рабочей среды (перегретый пар, сетевая вода);

- размещению и компоновке поверхностей нагрева в газоходах КУ (горизонтальные, вертикальные);

- характеру используемого теплоносителя (утилизация газов ГТУ без и при сжигании дополнительного топлива перед КУ);

- особенностям движения рабочей среды в испарительных поверхностях нагрева (за счет естественной или принудительной циркуляции);

- особенностям размещения котлоагрегатов на территории энергопредприятия (в пределах главного корпуса или за его пределами).

В России крупнейшим производителем КУ является АО «Подольский машиностроительный завод» (инжиниринговая компания «ЗиОМАР»). Данное предприятие изготавливает поверхности нагрева выпускаемых энергоустановок из стальных труб с наружным оребрением. При скоростях продуктов сгорания в газоходе котла 8 – 12 м/с и шахматном расположении труб наружным диаметром 32 – 38 мм коэффициент теплоотдачи конвекцией от теплоносителя к поверхности нагрева составляет  $\alpha_k = 80 - 100$  Вт/(м<sup>2</sup>·град). В случае оребрения труб поверхность нагрева одного погонного метра трубы возрастает в 3,3 – 7,5 раз (рис. 3). Применение оребренных труб вме-

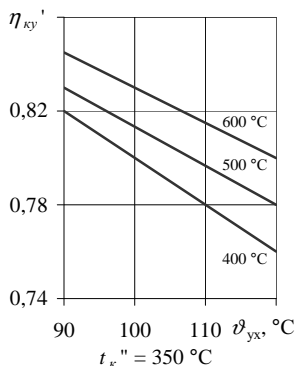


Рис. 1. Зависимость КПД КУ от температуры уходящих газов

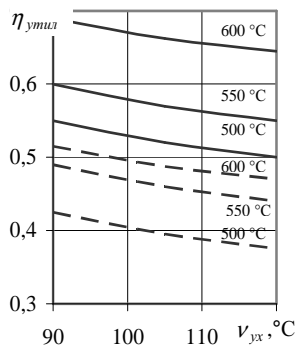


Рис. 2. Зависимость КПД утилизации от температуры газов перед ГТ: — —  $t_{zm}' = 1100$  °C; --- —  $t_{zm}' = 1300$  °C

сто гладких интенсифицирует поверхность нагрева теплообменников и позволяет уменьшить их габариты примерно на 27 – 34 %.

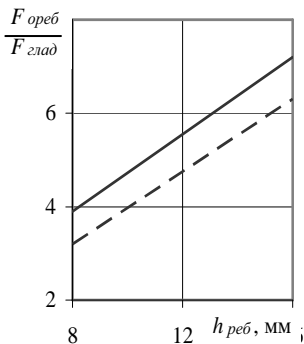


Рис. 3. Отношение площади ребренных труб к площади гладких труб при различной высоте ребра: —  $d_n = 38$  мм; - - -  $d_n = 32$  мм

Завод изготавливает ребренные трубы следующих параметров: наружный диаметр  $d_{нар} = 22 - 114$  мм; толщина стенки  $\delta_{ст} = 2 - 12$  мм; высота ребра  $h_{реб} = 5 - 25$  мм; толщина ребра  $\delta_{реб} = 0,8 - 2$  мм; шаг витков оребрения  $S_{реб} = 4 - 15$  мм [4]. Оребрение может быть выполнено из углеродистых, легированных и аустенитных сталей. Максимальная длина ребренной трубы может достигать 22 м. Масса ребренных труб в модулях КУ достигает 40 – 45 % от общей массы котла.

Отмечено, что участки газоходов КУ образованы отдельными монтажными блоками. Изучаются элементы газовых трактов КУ (входной диффузор, компенсатор, тепловая изоляция и обшивка КУ), их крепления (ребра и балки жесткости). На выходе из газового тракта всех КУ предусмотрены шумоглушители и дождевые заслонки.

Отмечено, что участки газоходов КУ образованы отдельными монтажными блоками. Изучаются элементы газовых трактов КУ (входной диффузор,

компенсатор, тепловая изоляция и обшивка КУ), их крепления (ребра и балки жесткости). На выходе из газового тракта всех КУ предусмотрены шумоглушители и дождевые заслонки.

Конструкция вертикальных КУ представляет поверхности нагрева, выполненные в виде отдельных модулей, укрепляемых один над другим с помощью каркаса. Предусмотрены боковые боксы для размещения коллекторов и колен труб, не омываемых газами (рис. 4). Ребренные трубы всех поверхностей нагрева расположены в горизонтальном направлении и зафиксированы в газоходе с помощью специальных вертикальных перегородок.

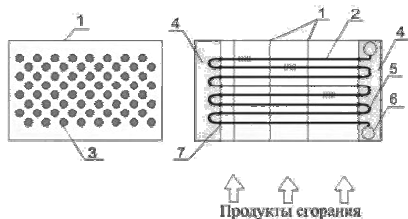


Рис. 4. Блок оребренной поверхности нагрева вертикального КУ: 1 – перегородки; 2 – оребренные трубы; 3 – отверстия в перегородках; 4 – боковые боксы; 5 – колесо; 6 – коллектор; 7 – место сварки

Подвески блоков крепятся к их трубным доскам. Газовый подогреватель конденсата подвешивают к «горячим» балкам, установленным на опорные балки каркаса. Остальные нижерасположенные поверхности нагрева подвешиваются к вышерасположенным. Коллекторы, неоребрённые участки труб и их гибы размещены в «теплых» ящиках.

В разделе рассматриваются также особенности компоновки рабочих поверхностей нагрева в горизонтальных КУ. В этих КУ поверхности нагрева состоят из отдельных секций, объединённых в пакеты. Каждая секция включает в себя верхний и нижний коллекторы, соединённые оребренными трубами, которые расположены в шахматном порядке. По ходу газов в каждом пакете устанавливают от трёх до шести секций, соединённых между собой по потоку рабочей среды с помощью коллекторов и перемычек. Все соединения выполнены за пределами газохода в специальных отделениях нижней и верхней частей КУ («теплых ящиках»).

В КУ марки П-96 стандартная секция имеет высоту 16,3 м, ширину 2,4 м. Число пакетов секций по ходу газов зависит от величины поверхности нагрева, а общее число пакетов определяется структурой тепловой схемы котла.

Контуры высокого и низкого давлений имеют свои опускные стояки диаметром соответственно 426×20 и 273×20 мм. Из нижней части стояков вода через горизонтальные коллекторы симметрично раздается по входным камерам секций.

Из выходных камер секций пароводяная смесь по трубам диаметром 108×16 мм (Ст. 20) перебрасывается в промежуточные камеры и далее по трубам диаметром 133×6 мм поступает в барабаны.

Секции составляют отдельные пакеты (блоки), которые подвешиваются к потолочным металлоконструкциям КУ с помощью металлических тяг. Пакеты конструктивно выполнены однотипными. Каждый пакет (блок) состоит из четырех секций, имеет одинаковое расположение и шаги труб. Трубы и секции дистанционированы в четырех местах по высоте.

В разделе «Варианты конструкций КУ электростанции» изучаются конструктивные, эксплуатационные и технико-экономические показатели энергоустановок, выпускаемых машиностроительным заводом «ЗиО-Подольск» (инжиниринговая компания «ЗиОМАР»), с горизонтальной (рис. 5) и вертикальной (рис. 6) компоновками поверхностей нагрева.



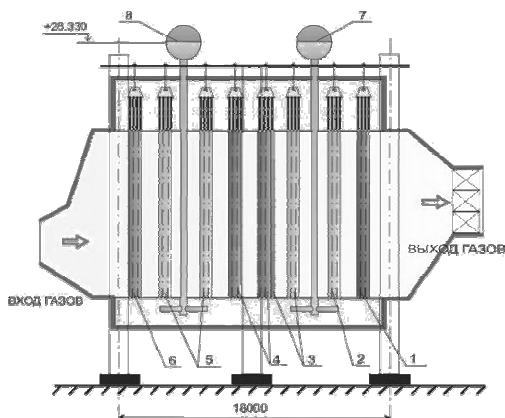


Рис. 5. Горизонтальный КУ: 1 – газовый подогреватель конденсата; 2 – испарительный пакет низкого давления; 3 – пароперегреватель низкого давления; 4 – экономайзер высокого давления; 5 – испаритель высокого давления; 6 – пароперегреватель высокого давления; 7 – барабан контура низкого давления; 8 – барабан контура высокого давления

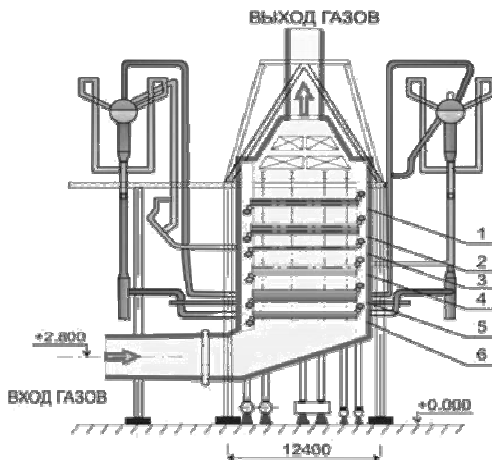


Рис. 6. Вертикальный КУ: 1 – газовый подогреватель конденсата; 2 – испарительный пакет низкого давления; 3 – пароперегреватель низкого давления; 4 – экономайзер высокого давления; 5 – испаритель высокого давления; 6 – пароперегреватель высокого давления; 7 – барабан контура низкого давления; 8 – барабан контура высокого давления

Применительно к конкретному котлу приводятся значения:  
– паропроизводительности контуров;

– давления и температуры перегретого пара контуров высокого и низкого давлений;

– температуры газов на входе и выходе из газохода КУ;

– аэродинамического сопротивления газового тракта;

– рабочего диапазона нагрузок установки.

Описываются особенности регулирования температуры перегретого пара.

Разработанный АУК рассчитан на студентов теплоэнергетических специальностей и может быть использован при подготовке и переподготовке работников энергопредприятий.

Текстовый материал иллюстрирован большим количеством рисунков, графиков, схем с элементами анимации. Иллюстрации способствуют усвоению дисциплины и повышают качество подготовки. При работе с модулем пользователь программного продукта с помощью специального меню может подключаться к любому разделу АУК.

Программный продукт подготовлен в операционной системе Windows с использованием графического редактора CorelDraw, Adobe Photoshop. Анимация разработана в среде Flash Macromedia, Adobe Image Ready. Автоматизированный учебный курс собран в конструкторе Macromedia Dreamweaver.

#### **Библиографический список**

1. **Свидетельство** об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2003610112. Мошкарин А.В., Пантелеев Е.Р., Шельгин Б.Л., Преснов Е.К. Интернет-учебник «Котельные установки ТЭС и промышленных предприятий». Зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ. 08.01.03г.

2. **Мошкарин, А.В.** Автоматизированная обучающая система «Котельные установки ТЭС и промышленных предприятий» (компьютерный учебник) / А.В. Мошкарин [и др.] // IV выставка научных достижений Ивановской области. – Ивановский инновационный салон: каталог экспонатов. – Иваново, 2007. – С. 150 – 151.

3. **Свидетельство** об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2008612066. А.В. Мошкарин, Б.Л. Шельгин, Н.С. Асташов. Автоматизированная обучающая система «Водогрейные котлы». Зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ. 25.04.08 г.

4. **Цанев, С.В.** Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций: учеб. пособие для вузов / С.В. Цанев, В.Д. Буров, А.Н. Ремезов; под ред. С.В. Цанева. – М.: МЭИ, 2002.

5. **Доверман, Г.И.** Расчет котельных агрегатов с использованием современных программных продуктов: учеб. пособие / Г.И. Доверман [и др.]; ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново, 2007.

6. **Тепловой** расчет котельных агрегатов (нормативный метод) / под ред. Н.В. Кузнецова [и др.]. – М.: Энергия. 1973.

УДК 681.3.06

## ОБЗОР ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

*Д.Н. Кокоулин, асп.*

**Введение.** Все программные комплексы, применяемые в процессе моделирования электроэнергетических объектов, можно условно разделить на три типа:

- специализированные математические комплексы для научных и инженерно-технических расчетов (Mathcad, MatLab, Maple, MuPAD, GNU Octave, Scilab, Maxima и др.);
- программы для инженерного моделирования электромагнитных, тепловых и механических полей методом конечных элементов (ANSYS, ELCUT, Femlab, FEMM, FlexPDE и др.);
- программы для моделирования процессов в электрических цепях и сетях (NI Multisim, Simulink, EMTP-RV, ATP-EMTP, MicroTran, RTDS Simulator, PSCAD-EMTDC и др.).

Ниже основное внимание будет уделено программным комплексам, предназначенным для моделирования процессов в электрических сетях, таким как PSCAD-EMTDC, EMTP-RV и ATPDesigner [1 –5].

При исследовании работы существующих электрических сетей, а также проектировании новых возникает ряд задач, связанных с проведением расчетов процессов и режимов эксплуатации как отдельных компонентов сети, так и энергетической системы в целом. Наиболее традиционными являются следующие задачи:

- анализ режимов короткого замыкания в сети;
- расчет потоков энергии и нагрузок;
- анализ устойчивости;
- анализ электромагнитных переходных процессов.

Наиболее сложным и в то же время наиболее общим является вопрос расчета переходных процессов в электроэнергетической системе вообще и в отдельных электрических сетях и их компонентах в частности. При анализе эксплуатационных или аварийных режимов сети необходимо учитывать различного рода коммутации, возмущения и временные возмущения параметров электрооборудования и связанные с этим изменения токов и напряжений, в общем случае носящие нелинейный харак-

тер. При моделировании разветвленных электрических цепей практически единственным методом расчета является компьютерный, с использованием вычислительной техники.

Проведение этих расчетов удобно осуществлять с помощью программ, снабженных графическим интерфейсом и поставляемых в комплекте с библиотеками стандартных компонентов электрических сетей. В настоящее время во всем мире широко используется исследователями-электроэнергетиками программа расчета электромагнитных переходных процессов EMTP (ElectroMagnetic Transient Program) и ее некоммерческая версия ATP (Alternative Transient Program). Существует ряд других достаточно популярных программ, например PSCAD и ATPDesigner (является графическим приложением программы ATP).

Программа ATP активно используется в процессе подготовки специалистов во многих университетах мира, однако сами студенты не могут стать авторизованными пользователями программы. Каждый студент получает от преподавателя, являющегося лицензированным пользователем ATP, временную лицензию.

В свою очередь, такие программы, как EMTP-RV и PSCAD, имеют достаточно высокую стоимость, поэтому данные комплексы используются для моделирования на больших промышленных предприятиях.

**Обзор возможностей программы EMTP.** EMTP – универсальная система программирования для цифрового моделирования переходных процессов как электромагнитного, так и электромеханического характера. С помощью этой программы могут моделироваться сложные сети и системы управления произвольной структуры. EMTP используется для анализа коммутационных и грозовых перенапряжений, исследования координации изоляции и вращательных колебаний электрических машин, моделирования релейной защиты и гармонического анализа, изучения проблем качества электроэнергии и электромагнитной совместимости и т.д.

Характеристика программы:

- объектно-ориентированное проектирование совместимое с Microsoft Windows;
- стильный и удобный интерфейс, позволяющий создавать и моделировать режимы в сложных электрических сетях;
- возможность создания большого количества подсетей;
- обновляемые библиотеки и модели объектов;
- быстрое вычисление с динамическим использованием памяти;
- улучшенные методы моделирования нелинейных элементов;

– улучшения в моделировании систем управления.

Программа выполнена с достаточно понятным графическим интерфейсом. Продвинутый процессор способен рассчитывать режимы длительностью от микросекунд до секунд.

Программный комплекс ЕМТР содержит следующие компоненты:

- двухобмоточные и трехобмоточные трансформаторы;
- идеальные трансформаторы, насыщаемые трансформаторы;
- машины постоянного тока;
- линии электропередач, кабельные линии;
- источники постоянного и переменного тока и напряжения (однофазные и трехфазные);
- источники несинусоидальных сигналов;
- выключатели и другое коммутационное оборудование;
- логические элементы и функциональные блоки;
- идеальные резисторы, катушки индуктивности, конденсаторы;
- кнопки управления, служащие для контроля и пуска процесса расчета;
- модели подсетей (модель линии, насыщаемого трансформатора);
- другие модели.

Общее количество компонентов различного назначения в программе ЕМТР – около 390.

Есть возможность сохранения результатов проектирования в формате *comtrade*, а также в формате *txt*, что позволяет экспортировать их в другие программные комплексы.

**Обзор возможностей программы PSCAD.** PSCAD – быстрое, достаточно точное и удобное в работе программное обеспечение для моделирования электрической сети и процессов, происходящих в ней. Комплекс подходит для моделирования переходных процессов и их анализа. Графический интерфейс прост и удобен в использовании. Это позволяет эффективно строить схемы электрической сети, управлять моделированием, анализировать результаты и управлять данными в полностью интегрированной графической среде (рис. 1).

PSCAD обеспечивает интуитивный и интерактивный ввод исходных данных. Есть возможность менять глобальные переменные всего расчета, такие как общее время расчета, частоту электрической сети, шаг интегрирования и др.

PSCAD содержит широкий выбор моделей различных объектов: от простых пассивных элементов и функций управления до более сложных, таких как электрические машины, линии электропередач. Содержит

около 280 компонентов, при помощи которых возможно построение сложной разветвленной электрической сети.

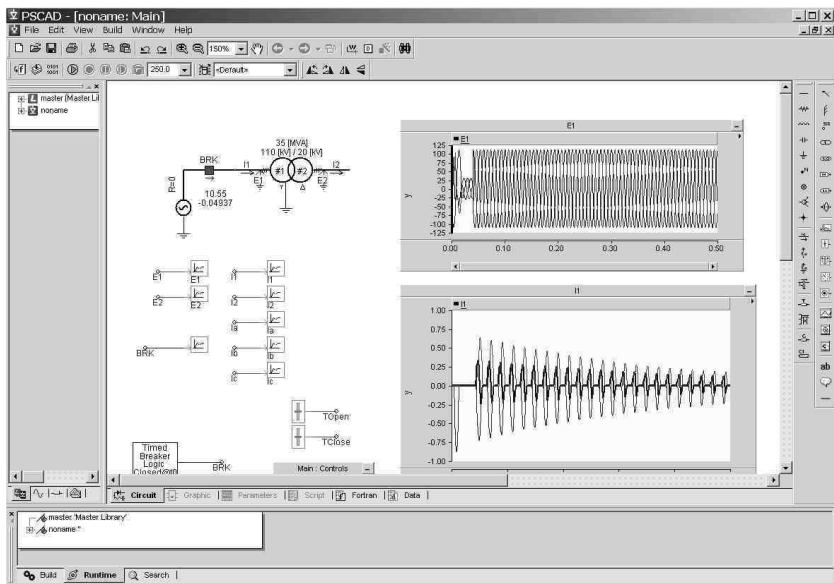


Рис. 1. Интерфейс программы PSCAD

Программный комплекс PSCAD содержит следующие компоненты:

- модели пассивных элементов (катушки индуктивности, резисторы, конденсаторы, модели узловых точек);
- трехфазные и однофазные источники тока и напряжения;
- смешанные модели (логические элементы, математические функции);
- коммутационные приборы;
- устройства, позволяющие выводить на график контролируемый сигнал;
- трехфазные и однофазные выключатели;
- элементы промышленной электроники;
- линии электропередач и кабельные линии;
- модели функциональных элементов (логические элементы, вычисление модуля числа и т.д.);
- модели вращающихся машин;
- модели трансформаторов (идеальных и с насыщением);

- модели трансформаторов тока и напряжения, характеристики срабатывания защит;
- блоки для перевода результатов расчета в другие форматы;
- компоненты, позволяющие управлять процессом расчета и процессом моделирования.

**Обзор возможностей программы ATPDesigner.** ATP – некоммерческая версия EMTP. Программа ATP создает при моделировании переходных процессов в электрической цепи структурированный текстовый файл с описанием параметров входящих в цепь элементов и соединений между ними. Для более удобной работы с программой была разработана специализированная среда ATPDraw. Многим пользователям приложение ATPDraw показалось недостаточно удобным при моделировании (достаточно сложная система построения графиков с использованием дополнительных подпрограмм). В связи с этим была разработана и успешно внедрена программа ATPDesigner (рис. 2). Этот комплекс использует в расчетах ядро программы ATP, но, по сравнению с приложением ATPDraw, имеет ряд преимуществ. В программе ATPDesigner создан достаточно удобный и понятный пользовательский интерфейс, совместимый с Microsoft Windows.

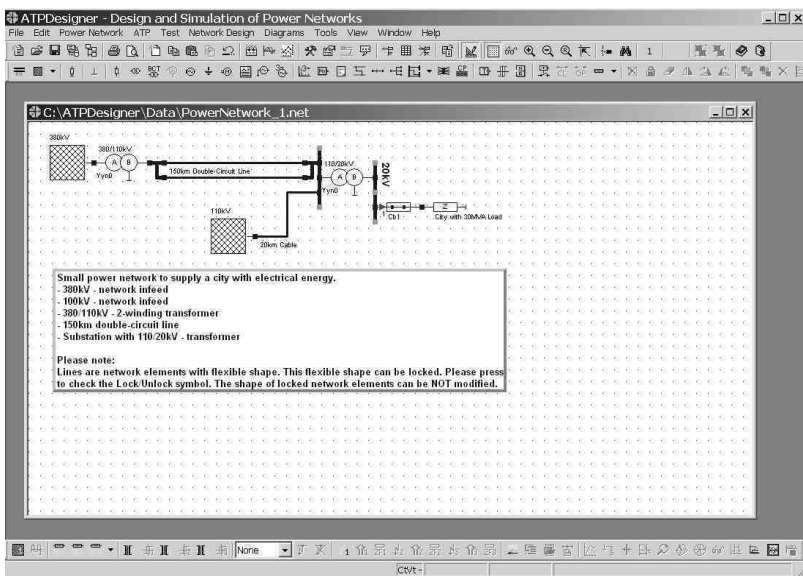


Рис. 2. Интерфейс программы ATPDesigner

Программа ATPDesigner содержит большую базу элементов:

- источники постоянного и переменного тока и напряжения;
- однофазные и трехфазные источники тока и напряжения;
- выключатели трехфазные и однофазные, с возможностью подключения встроенных измерительных трансформаторов тока и напряжения;
- машины постоянного и переменного тока;
- линии электропередач (одноцепные, двухцепные);
- кабельные линии;
- линейные элементы (сопротивление, индуктивность, емкость);
- нелинейные элементы, с возможностью задания нелинейной зависимости;
- элементы, необходимые для контроля расчета.

Общее количество компонентов в программе ATPDesigner – ориентировочно около 300. Параметры каждого элемента настраиваются по усмотрению пользователя, под конкретные задачи проектирования. Есть возможность задавать глобальные параметры расчета, такие как число периодов рассчитываемого процесса, частоту сети, подключение дополнительных моделей в расчет.

Графический редактор программы ATPDesigner позволяет анализировать полученные результаты и выводить следующие графические зависимости:

- временные зависимости;
- зависимость одной переменной от другой;
- гармоническое разложение сигнала;
- векторные диаграммы сигнала.

Данные расчета можно сохранять в форматах comtrade, text, text (Excel).

## **Вывод**

Все программные комплексы схожи в том, что преследуют одинаковую цель – моделирование и анализ процессов в электрической сети, но, с другой стороны, имеют ряд принципиальных различий.

Программа EMTP чаще применяется в научно-исследовательских целях. Она предоставляет широкие возможности по проектированию как отдельного энергетического объекта (силовой трансформатор, ЛЭП и т.д.), так и электрической сети в целом. Основное отличие EMTP от других комплексов в том, что имеются широкая возможность использования подмоделей при моделировании. За рубежом, в Германии, США, Китае и других странах практически ни одно исследование не обходится без предварительного моделирования в программе EMTP. Этот комплекс



хорошо подходит для более детального моделирования, если такое необходимо. Основным недостатком этой программы в том, что лицензия стоит больших денег, и если рассматривать возможность применения этого комплекса в учебном процессе, то не каждое учебное заведение может себе позволить ее приобретение.

Программный комплекс ATP является некоммерческой версией программы EMTP. По своим функциональным возможностям они схожи. Основные недостатки программы ATP и ее графического приложения ATPDraw – это неудобство интерфейса и меньшие функциональные возможности. Основное достоинство ATP состоит в том, что программа является совершенно бесплатной и требует только регистрации пользователя. Этот комплекс может достаточно успешно применяться в учебном процессе.

Программа ATPDesigner является отдельным программным комплексом, использующим в расчетах ядро программы ATP, но имеющим удобный и информативный интерфейс и ряд дополнительных функций. Программа является бесплатной для сотрудников вузов и их аспирантов, поэтому может применяться в учебном процессе.

Программный комплекс PSCAD в основном предназначен для решения инженерных и проектных задач в сфере энергетики. Лицензия на PSCAD стоит дорого, поэтому применение программы в учебном процессе ограничено.

К общему недостатку перечисленных программных комплексов ATPDesigner, PSCAD, EMTP можно отнести англоязычные интерфейс и справочные материалы.

Каждая из перечисленных программ является удобным и достаточно мощным инструментом для анализа явлений в электрических сетях любой степени сложности.

#### **Библиографический список**

1. Getting Started with ATPDesigner V 2.0. [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые данные (1 файл). – Режим доступа: <http://www.atpdesigner.de/upload/GettingStarted.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.
2. Fundamentals of PSCAD and General Applications Version 4.2. [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые данные (1 файл). – Режим доступа: <http://www.nayakcorp.com/download/Tutorial/tutorials1-6.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.
3. ATPDraw for Windows 3.1x/95/NT version 1.0. User's Manual. [Электронный ресурс]. – Электрон. Текстовые данные (1 файл). – Режим доступа: <http://uyak03.files.wordpress.com/2008/02/atpdraw-user-manual.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.
4. EMTP-RV. ElectroMagnetic Transients Program. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.emtp.com/>.
5. Селиванов, В.Н. Использование программы расчета электромагнитных переходных процессов ATP-EMTP в учебном процессе / В.Н. Селиванов // Вестник МГТУ. Т. 12. – 2009. – № 1. – С. 107 – 112.