

Построение модели однолинейной схемы при создании эффективной системы автоматизированного проектирования электроэнергетических объектов

И.М. Сунцов,
В.П. Фрайштетер, К.Т.Н.
(ОАО «Гипротюменнефтегаз»,
Группа ГМС)

Адрес для связи: gtng@gtng.ru

Ключевые слова: система автоматизированного проектирования (САПР), однолинейная схема, оптимизация.

За последние несколько лет в области отечественных проектных работ четко обозначилась тенденция увеличения объемов вычислительных задач. В связи с этим значительные усилия по оснащению программным обеспечением направлены на автоматизацию трудоемких и рутинных процессов. Чаще всего программная поддержка проектных институтов базируется на системах автоматизированного проектирования (САПР). Приоритетом внедрения автоматизированных технологий являются не только решения вычислительного характера, но и возможности подготовки готового комплекта проектной документации.

САПР представляет собой организационно-технический комплекс, состоящий из большого числа подсистем и компонентов, и включает следующие виды обеспечения.

1. Математическое, основанное на использовании математических моделей и методики, на базе которых функционируют программные алгоритмы, а также построена логика системы.

2. Лингвистическое, заключающееся в применении универсальных знаков и символов, а также в поддержке мультилингвистических режимов работы.

3. Техническое, включающее устройства ввода, обработки, вывода и передачи данных. Современные персональные компьютеры обладают достаточными ресурсами, чтобы обеспечить надежную работу системы, а средства передачи данных – мобильность и обмен информацией.

4. Информационное, реализующееся в совместной работе приложений с информационными базами данных, содержащих исчерпывающую информацию о применяемых графических элементах, нормативах и используемом оборудовании.

5. Организационное, сопровождающееся инструкциями, регламентирующими структуру системы и взаимо-

The main features of one-line schemes model at creation computer-aided desing of electrical power system

I.M. Suntsov, V.P. Frajshteter
(Giprotyumenneftegaz OAO, HMS Group, RF, Tyumen)

E-mail: gtng@gtng.ru

Key words: CAD, one-linear scheme, optimization.

The article considers questions of increase technological level one-line schemes using specialized integrated CAD systems. The main principles of structure and algorithms CAD systems are given.

действие элементов внутри комплекса. Неполная справочная информация, а часто ее отсутствие, вместе с языковым барьером создают ситуацию, при которой разработчик и пользователь не могут найти точек пересечения. Необходимо отметить, что стадия тестирования продукта в реальных условиях проектирования является едва ли не важнейшим этапом.

Одним из самых трудоемких объектов проектирования являются электрические сети 0,4 кВ. Наряду с планами электрических сетей особое значение при разработке комплекта чертежей имеет однолинейная схема (рис. 1) с отображенной на ней информацией об электрических, магнитных и электромагнитных связях элементов объекта, а также о параметрах компонентов, изображенных на чертеже с помощью условно-графических изображений (УГО) (ГОСТ 2.702-2011 «Единая система конструкторской документации. Правила выполнения электрических схем»). Однолинейная схема также содержит данные о расчетах нагрузок, параметрах проводников и защитных труб, характеристиках пусковой аппаратуры и длине кабелей. Однолинейная схема представляет собой сложный объект, характеризующийся следующими признаками:

- использование многочисленных УГО, отличающихся по своей сути друг от друга;
- наличие противоречивых требований, предъявляемых к параметрам используемого оборудования;
- отсутствие однозначных критериев оценки технико-экономических показателей принимаемых решений;
- наличие зависимости расчетных параметров схемы не только от исходных данных элементов, но и от характера взаимодействия между ними;
- возникновение неопределенностей вследствие постоянных изменений смежных компонентов системы.

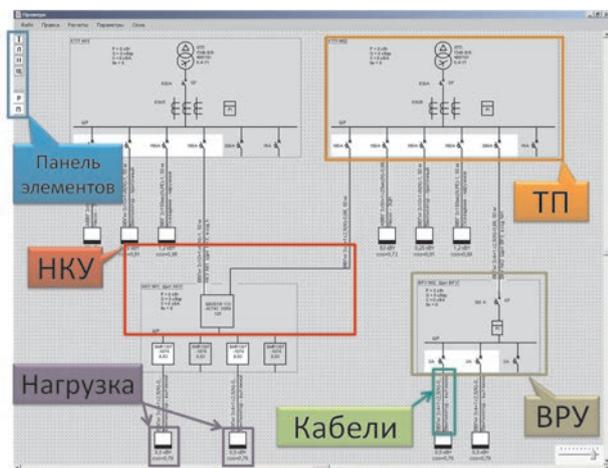


Рис. 1. Пример однолинейной схемы, созданной на основе типовых элементов:

НКУ – низковольтное комплектное устройство; ВРУ – вводно-распределительное устройство; ТП – трансформаторная подстанция

Несмотря на то, что специалисты затрачивают значительное время на создание принципиальной схемы, возникает необходимость дополнительной проверки принятых решений, устранения ошибок расчетов, определения оптимального проектного решения. Анализ проектной деятельности показывает, что наиболее трудоемкими являются поиск и устранение ошибок.

Отсутствие автоматизированных решений негативно влияет на качество выпускаемых проектов вследствие проявления субъективного фактора. Результаты во многом определяются инженерной подготовкой специалистов и их производственным опытом. САПР в значительной степени позволяет сократить субъективизм принимаемых решений, повысить точность расчетов, оценить технические, технологические и экономические характеристики проектируемого объекта на основе математического анализа, существенно сократить сроки оформления документации, облегчить унификацию стандартных компонентов.

Существующие программные приложения не позволяют применить комплексный подход к проектированию схем либо из-за своей узкой направленности, либо вследствие чрезвычайной сложности продуктов и высокой стоимости. Бесплатные приложения не оснащены графическим интерфейсом, формирующим модель на основе объектного ввода, и часто представляют собой схему замещения, не имеющую сопровождающего графического интерфейса. Объекты в таких программах не сочетают в себе свойства и параметры, идентифицирующие элементы с базой данных. Представленные на рынке системы от известных фирм также не идеальны: во-первых, их функционирование не предполагается без покупки основной платформы; во-вторых, графические и расчетные модули могут выполняться в разных приложениях, что неизбежно вызовет проблемы на стадии экспорта-импорта данных; в-третьих, такие системы предполагают использование зарубежного оборудования и плохо приспособлены для подстройки под конкретную специфику нефтегазовой отрасли в условиях Западной Сибири.

Стремление зарубежных производителей решить широчайший спектр задач по консолидации однолинейной

схемы с трассировкой кабельных линий на ситуационных планах вынуждает разработчика реализовывать тривиальные пункты, оставляя специфические особенности сторонним организациям. Есть и другая тенденция на рынке программного обеспечения, характеризующаяся глубокой детализацией процесса создания щитовых устройств, вплоть до разработки 3D модели, что, как правило, не характерно для проектной деятельности в отличие от конструкторской. Таким образом, проблема автоматизированного выполнения электротехнических расчетов в сетях до 1 кВ в однолинейной схеме с дальнейшим отображением графических данных, пригодных для использования в качестве проектной документации, слишком сложна для решения простыми офисными средствами и в недостаточной степени глобальна для скрупулезного анализа производителями обеспечения САПР.

В современных условиях перенасыщенного программными приложениями рынка важно искать компромиссные решения. С одной стороны, поставленные задачи должны охватывать в достаточной степени широкий круг вопросов (автоматизацию процесса проектирования однолинейной схемы с возможностью автоматического подбора электротехнического оборудования), с другой – определение четких позиций занимаемой ниши на рынке поможет сконцентрироваться на мелких деталях, что сократит дополнительные усилия на этапе внедрения. В результате ценность любого программного продукта может быть охарактеризована следующими свойствами:

- простотой, обусловленной минимизацией информационной нагрузки на пользователя;
- надежностью, достигаемой за счет грамотной архитектуры приложения, организованной для быстрого поиска и устранения ошибок;
- быстродействием, понимаемым как свойство системы своевременно реагировать на изменения, внесенные пользователем, а также предусматривающим возможность оперативной корректировки внутренних алгоритмов с учетом текущих задач.

Перед авторами встает вопрос разработки специализированной интегрированной САПР, однолинейных схем, в которых предусматривается полная автоматизация расчетных и чертежных работ, а также технологической подготовки (выбора оборудования). Интегрированные САПР обладают следующими свойствами:

- консолидацией всех этапов проектирования от ввода исходных данных до получения проектно-технической документации (интеграцией по глубине) (ГОСТ 21.613-88 «Система проектной документации для строительства. Силовое электрооборудование. Рабочие чертежи»);
- возможностью выбора альтернативных алгоритмов и математических методов с целью оптимизации в зависимости от конкретных условий (интеграцией по ширине);
- наличием интегрированной базы данных.

Совокупность увязанных друг с другом моделей проектных процедур, образующих логическую схему построения объекта на основе математических методов, в итоге позволит разрешить электротехнические неопределенности, приведенные ниже.

1. Неопределенность при расчете электрических нагрузок. Несмотря на использование поэлементных методов

расчета, ни одна из существующих методик не может быть рекомендована как оптимальная для всех условий. Разрозненные методики дают корректные результаты лишь в узких пределах исходных данных, а выработка единого решения возможна только при адаптивном использовании каждого из них программным приложением (РД 39-0147323-803-89-Р «Указания по расчету и регулированию электрических нагрузок и потребления предприятий нефтяной промышленности»).

2. Неопределенность при расчетах токов короткого замыкания (КЗ). Распространение трансформаторов большой мощности является причиной значительного увеличения токов КЗ, что приводит к неоправданно повышенным требованиям к коммутационной аппаратуре. При расчетах токов КЗ, особенно вблизи мощных питающих источников, использование методик, учитывающих сопротивление электрической дуги, существенно снижает значения токов по сравнению с металлическим КЗ.

3. Неопределенность при ретроспективных расчетах потерь. Необходимость снижения технологического расхода электрической энергии при ее передаче и распределении предполагает определение структуры потерь по элементам электрической сети, а также эффективности внедряемых мероприятий по их снижению. Жесткие требования к коэффициенту мощности и падению напряжения на участках сети вынуждают потребителей и продавцов электроэнергии искать оптимальные по выполнению условий варианты использования технических устройств и соответственно внедряемые мероприятия.

4. Неопределенности при расчетах технико-экономических параметров, необходимых для выбора сечений кабелей и характеристик технических аппаратов. Существующие рекомендации, приведенные в нормативных документах, не могут в полной мере отразить текущую ситуацию на энергетическом рынке, а использование представленных методик вряд ли возможно из-за плохо прогнозируемых экономических параметров.

Очевидно, что при таких объемах информации специалистам требуется колоссальное количество времени не только на оптимизацию схемы, но и в первую очередь на устранение ошибок. Ситуация усложняется и тем, что требования заказчика вносят в схему свои коррективы, и возникающее при этом множество поправочных итераций по согласованию значительно замедляет процесс проектирования. Следовательно, система, работающая в интерактивном режиме, позволяющем проектировщику осуществлять контроль проектирования в режиме диалога с программой, могла бы стать удобным инструментом для специалиста, освободив его от необходимости ведения расчетов и внесения изменений, а также позволив в минимальные сроки проектировать сложные однолинейные схемы из типовых элементов, отображенных с помощью понятных ему интерфейсов.

Для систем проектирования наиболее предпочтительно использование иерархической структуры САПР с целью устранения неопределенности выбора принципов организации взаимодействия элементов и оптимального распределения функций между автоматическими и авто-

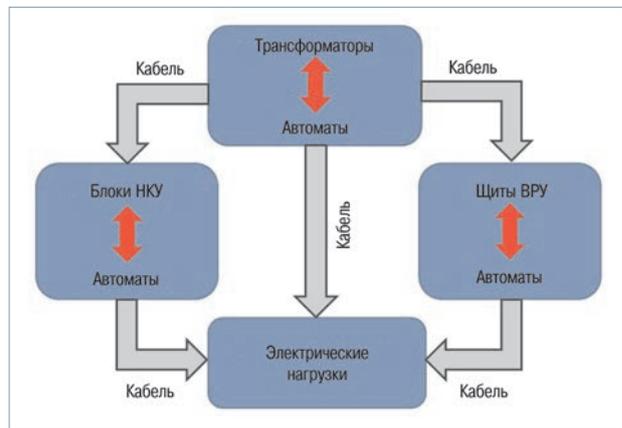


Рис. 2. Иерархическая структура, использованная для построения модели электроэнергетических систем

матизированными способами управления (рис. 2). Особенности структуры текущей модели являются:

- автономность подсистем ТП, НКУ и ВРУ, представляющих собой независимые подсистемы упрощенного проектирования щитовых устройств;
- гибкое оперирование системой при недостатке исходных данных и возможность возмещения отсутствующей информации из базы данных; в качестве общего ограничивающего фактора могут быть тип отрасли, которой принадлежат объекты проектирования, регламентирующий тип и характер работы электрических нагрузок;
- агрегирование информации при движении вверх по иерархическим ступеням от электрических нагрузок к ТП.

Поставленные перед подсистемами САПР задачи анализа режимов работы разомкнутых сетей, определение электрических нагрузок, расчет токов КЗ, а также потерь мощности и энергии, контроля ошибок и адаптации для применения в определенной отрасли выполняются, как правило, в индивидуальном пакете программ (ПП), обеспечивающих повышение производительности труда при решении конкретных задач. При использовании блочной организации ПП для каждой поставленной задачи формируется граф управления, согласно которому задается последовательность работы пакетов. В основе построения ПП часто лежит модульный принцип, позволяющий сохранить архитектурное единство всей системы (рис. 3).

При устранении описанных ранее неопределенностей возникают новые требования к логике системы. Ключе-

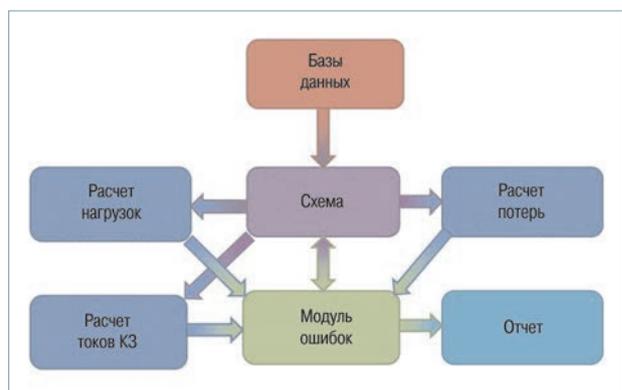


Рис. 3. Блок-схема, отображающая модульный принцип функционирования программы

вой особенностью работы приложения являются функциональные связи с базой данных электротехнического оборудования. При этом ранее за основу был принят принцип жесткого соответствия каталожных данных графическому отображению элементов. Однако такой подход не обладал достаточной гибкостью при решении поставленных задач. Изначально предполагалось, что расчет нагрузок будет лишь одной из ступеней в общей системе, однако, как оказалось позже, расчеты нагрузок могут выступать и в качестве приоритетной задачи. В таком случае интеллектуальная схема становится перегруженной атрибутивными параметрами и для корректной работы требует внесения уточняющей информации об оборудовании, которая в конечном счете остается невостребованной.

Было решено разделить базы на две условные группы (рис. 4). Первая группа должна была отвечать за графическое отображение в схеме и определять тип элемента, например автоматический выключатель или ТП. Неучет детальной информации нарушил строгие логические связи между базой данных по оборудованию и элементами на схеме, которые фактически стали иметь неопределенный набор атрибутов. Необходимым и достаточным условием при расчетах нагрузок является однозначность в определении типов элементов, присутствующих на схеме, и соотнесение данных о мощности нагрузок с соответствующими обозначениями.



Рис. 4. Принцип работы приложения с базами данных

Таким образом, скорректированный алгоритм работы позволил провести параллель между типами расчетов и объемом вносимой пользователем атрибутивной информации. Во-первых, это освобождает ресурсы от выполнения ненужных операций, во-вторых, не ставит пользователя перед необходимостью детализирования схемы, предоставляя возможность поэтапного уточнения параметров схемы от общего к частному согласно иерархическому принципу построения.

Несмотря на то, что наиболее трудоемкая часть в процессе создания приложения сводится к устранению не-

точностей и оснащению дополнительными расчетными функциями, основополагающим принципом работы остается универсальность. В идеальном варианте система должна гибко перестраиваться под любую отрасль и предусматривать все возможные типы выходных данных, на практике необходимо исходить из минимизации времени на внесение изменений в алгоритмы программы при подстройке под конкретную специфику. Выполнение требований универсальности позволяет решить вопрос о конкурентоспособности, а соответственно и задачи, поставленные перед программным комплексом.

Обобщая опыт текущей разработки, можно выявить следующие принципы, на которые было бы целесообразно ориентироваться при последующей доработке продукта:

- взаимозаменяемость автоматических и автоматизированных модулей; в режиме корректировки данных принцип позволяет перейти к наиболее производительному режиму в каждом конкретном случае;
- возможность автономной работы подсистем САПР (вывод проектной документации по щитовым устройствам в обход общих алгоритмов);
- реализация интерактивного режима;
- минимизация необходимой входной информации;
- принцип эволюционного развития, совершенствование подсистем САПР на основе эвристических методов;
- принцип максимальной независимости от других программных приложений;
- использование иерархической структуры.

Главными результатами работы, безусловно, являются повышение технического уровня однолинейных схем, отвечающих требованиям нормативно-технической документации, сокращение сроков и стоимости их создания за счет формирования нового подхода к проектированию. В настоящее время не все перечисленные проблемы и неопределенности существующих расчетных методов решены, однако программные комплексы создают базис для быстрого анализа и модернизации соответствующих методик.

Использование потенциала автоматизированного проектирования, заключающегося в возможности изучения свойств различных процессов с помощью математического моделирования и ведения вычислительных экспериментов, становится необходимым для сохранения конкурентоспособности на рынке проектных организаций. Усложнение процессов проектирования, связанное с увеличением объемов выпускаемых продуктов, необходимость подготовки комплексных решений, повышение качества изделий и снижение их себестоимости, сокращение сроков подготовки проектов, рост затрат на исправление ошибок требуют внедрения САПР.