



ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ СОБСТВЕННЫХ НУЖД НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ **ElectriCA**

Проектирование низковольтной распределительной сети собственных нужд ТЭС связано со значительными трудозатратами, что объясняется, с одной стороны, большой размерностью задачи, а с другой — большим количеством разноплановых расчетов. При этом необходимо учитывать достаточно сложные физические процессы, приближенное моделирование которых при ручных расчетах дает значительную погрешность.

По существующей технологии проектирования сети собственных нужд ТЭС весь комплекс проектных работ разбивается на следующие этапы:

1. Анализ состава потребителей электрической энергии и их ориентировочное распределение по возможным источникам питания.
2. Расчет электрических нагрузок трансформаторов, выбор их числа и мощности.
3. Разработка структуры схемы питания потребителей.
4. Определение токовых нагрузок для линий, питающих отдельные потребители, силовые сборки и распределительные щиты.
5. Выбор марок и сечений кабелей по допустимому току и, возможно, по экономической плотности тока.
6. Расчет токов коротких замыканий (ТКЗ) — для выбора основного оборудования.
7. Выбор коммутационных аппаратов по отключающей способности и уставок их срабатывания.
8. Оценка (как правило, экспертная) времени срабатывания основных и резервных защит.
9. Проверка выбранных сечений кабелей по термической стойкости и по условию невозгорания. При этом определяются минимально допустимые сечения жил кабелей, а все кабели с сечением жил меньше допустимых заменяются минимально допустимыми.
10. Проверка отклонений напряжения в нормальном режиме и при пусках двигателей. Расчеты отклонений напряжения выполняются для наиболее критичных

участков сети (наиболее протяженные, самые загруженные или с наименьшим сечением жил кабелей). Выбор участков проектировщик осуществляет самостоятельно.

11. Расчеты токов короткого замыкания и проверка защит по чувствительности для наиболее критичных участков сети. В отличие от расчетов ТКЗ для выбора оборудования, здесь необходимо учитывать дугу в месте КЗ и изменение сопротивлений при нагревании жил кабелей током КЗ. Кроме того, на рассматриваемом участке сети следует рассчитать не максимальный, а минимально возможный ток короткого замыкания. Критичные участки (наиболее протяженные или с наименьшим сечением жил кабелей) выбираются по усмотрению проектировщика.
12. По результатам расчетов и проверок формируются следующие проектные документы:
 - таблица обоснования результатов выбора кабелей и защитных аппаратов;
 - предварительный кабельный журнал для раскладки кабелей по трассам;

- электрические схемы заполнения ячеек распределительных сборок и щитов.

13. Выполнение раскладки кабелей и формирование кабельных журналов. Если в процессе раскладки произошло увеличение длин отдельных кабелей, требуется повторить операции 10-го и 11-го этапов, а также внести изменения в документы, полученные на 12-м этапе.

14. По кабельным журналам формируются заказные спецификации на кабельную продукцию, а по схемам заполнения ячеек распределительных сборок и щитов — задания заводам на изготовление оборудования и заказные спецификации на комплектующие шкафов и щитов.

При проектировании распределительной сети ТЭС используются различные компьютерные программы, а большинство расчетов, как правило, не представляет особой сложности. Наиболее трудоемкие из них — это расчеты токов коротких замыканий. В то же время применение множества расчетных программ приводит к необходимости по несколько раз готовить и вводить одну и ту же информацию, сохраненную в разных форматах, а это повышает риск появления ошибок.

Применение компьютерных программ расслабляет расчетчика: он полностью полагается на полученные результаты, тогда как даже лучшие программы лишь отображают картину, основанную на введенных данных по рассматриваемой проблеме. Так, в ряде проектных организаций используют достаточно совершенную программу, которая позволяет учитывать и токи подпитки от асинхронных двигателей, и тепловой спад токов КЗ, и сопротивление дуги в зависимости от условий ее возникновения. С другой стороны, к моменту выполнения расчетов могут отсутствовать данные о подключенных к сети электроприемниках. Если во время расчета электроприемники не определены и, как следствие, не учитываются их токи подпитки, это приводит к получению неправильных, заниженных результатов. Конечно, рассматриваемая аварийная ситуация на спроектированном объекте может никогда и не возникнуть или ее развитие пойдет по наименее тяжелому

варианту, но последствия такой ошибки могут оказаться и куда более неприятными.

Другая сложность: в крупной проектной организации различные этапы проектирования распределительной сети собственных нужд ТЭС, как правило, выполняются разными сотрудниками. Это серьезно ограничивает поиск лучшего решения. Так, например, если на присоединении некоторого электроприемника обнаружено пониженное напряжение при пуске, или выяснилось, что резервная защита для некоторого присоединения нечувствительна к минимальным токам короткого замыкания, то проектировщики обычно увеличивают сечение проблемного присоединения. Проще и лучше было бы изменить структуру сети, но в этом случае пришлось бы переделывать работу многих проектировщиков, а они, как правило, на это не идут.

Избежать подобного позволяет объединение всего комплекса работ по проектированию распределительной сети в одних руках — а это возможно только с использованием программного комплекса, построенного на основе единой модели распределительной сети и обеспечивающего выполнение всех этапов ее проектирования. Такой программный комплекс, **ElectriCA**, разработанный в ОАО "Зарубежэнергопроект", позволяет решать следующие задачи:

- определение (различными методами) расчетных токовых нагрузок для всех элементов распределительной сети;
- расчет рабочих токов во всех фазах и в нулевом проводе четырехпроводной сети по заданным нагрузкам;
- расчет фазных и линейных напряжений в каждой точке сети, симметричных составляющих напряжений и соответствующих коэффициентов несимметрии, а также определение наибольших отклонений напряжения в установившемся режиме;
- расчет потоков и потерь мощности во всех элементах сети в установившемся режиме работы;
- расчет величины тепловыделений в электрооборудовании (в заданных помещениях);
- расчет пиковых (пусковых) токов и времени их протекания во

всех элементах сети, а также напряжений в каждой точке при протекании пиковых токов — с оценкой наибольших отклонений напряжений от номинальных значений;

- определение для каждого элемента сети максимальных токов в начальный момент времени при трехфазном и однофазном коротком замыкании (КЗ), а также наибольшего значения ударного тока КЗ. Для трехфазных КЗ учитываются возможные подпитки от синхронных и асинхронных двигателей;
- определение для каждого элемента сети минимальных токов при однофазном, двухфазном и трехфазном КЗ с учетом сопротивления дуги и нагревания токоведущих частей рабочим током и током КЗ (учет теплового спада);
- определение для каждой возможной точки короткого замыкания времени его отключения основными и резервными защитами по заданным характеристикам срабатывания защитных аппаратов;
- оценка температуры жил проводов и кабелей при рабочих токах и на моменты отключения токов КЗ основными и резервными защитами (для проверки кабелей на термическую стойкость и невозгорание);
- автоматический выбор (из встроенной базы данных) сечений проводов и кабелей, номинальных токов коммутационных и защитных аппаратов;
- проверка селективности срабатывания защитных аппаратов с зависимой или независимой от тока характеристикой времени срабатывания, а также построение карт селективности;
- автоматизированный выбор уставок автоматов и номинальных токов плавких вставок предохранителей.

Исходными данными для программного комплекса **ElectriCA** являются перечни потребителей электрической энергии (с указанием требований к их электроснабжению), помещений, возможных источников питания, а также каталог оборудования с необходимой справочной информацией (рис. 1).

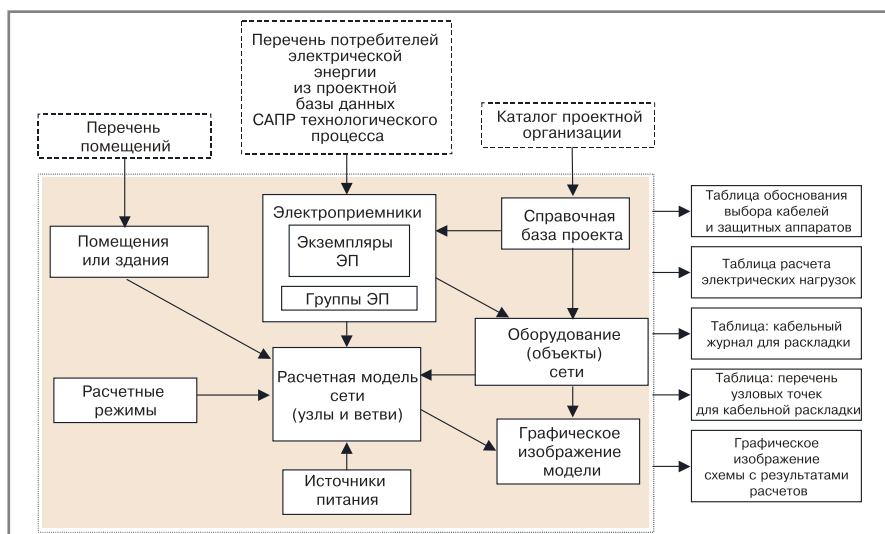


Рис. 1. Структурная схема внутренней базы данных программы ElectricA

Все расчеты выполняются с помощью расчетной модели электрической сети, которая отражает конфигурацию схемы и основные свойства ее объектов: кабельных и воздушных линий, трансформаторов, коммутационных аппаратов, электроприемников и т.д. При вводе (вычерчивании) объектов схемы и указании их свойств в соответствующих таблицах расчетная модель формируется автоматически. Для этого в системе предусмотрен специальный графический редактор.

Все свойства элементов подразделяются на идентифицирующие, схемные и режимные.

Идентифицирующие свойства несут информацию о положении элемента в графе сети. Так, каждый элемент внутри программы идентифицируется по номеру узла начала и порядковому номеру присоединения к узлу. Элементы, связанные с двумя узлами, имеют второе свойство-идентификатор: номер узла конца и номер присоединения к нему. Идентифицирующие свойства автоматически определяются при вычерчивании схемы сети.

К схемным свойствам относятся состояние элемента (включенное или отключенное), тип элемента, длина и число в пучке для кабелей, положение ПБВ для трансформаторов, уставки для защитных аппаратов и т.д. На основе схемных свойств и каталожной информации, которая хранится во встроенной справочной базе данных, рассчитываются параметры схемы замещения каждого объекта.

Режимные свойства представляют собой результаты комплексного расчета. Перечислим их полностью:

- расчетные токи;
- расчетные напряжения;
- отклонения расчетных напряжений от номинальных;
- пусковые токи;
- напряжения при пусках;
- отклонения напряжений при пусках;
- минимальные токи при однофазных, двухфазных и трехфазных коротких замыканиях;
- времена отключения при минимальных токах коротких замыканий;
- максимальные токи при однофазных и трехфазных коротких замыканиях без учета подпитки от двигателей, а также при трехфазных КЗ с учетом подпитки;
- ударные токи при максимальном токе из перечисленных выше;
- токи при отключении короткого замыкания основной и резервной защитами;
- время отключения максимального тока короткого замыкания основной и резервной защитами;
- возможные температуры жил при отключении тока короткого замыкания основной и резервной защитами — для проверки по термической стойкости и невозгоранию;
- список нарушенных условий работы на основе сравнения режимных параметров с характеристиками оборудования;
- интеграл Джоуля ($B=I^2t$) при отключении короткого замыкания

основной и резервной защитами. Эта величина определяется численным интегрированием и может использоваться для проверки промежуточных расчетов;

- эквивалентные односекундные токи, которые вычисляются как квадратный корень из интеграла Джоуля. Эта величина может использоваться непосредственно для проверки допустимости использования оборудования по термической стойкости;
- коэффициенты загрузки оборудования — для оценки степени их недогрузки или перегрузки;
- потоки мощности;
- потери мощности;
- токи по фазам для оценки несимметрии загрузки фаз. Эти токи определяются без учета неодновременности максимумов;
- фазные напряжения;
- линейные напряжения;
- симметричные составляющие напряжений и коэффициенты несимметрии напряжений;
- сопротивления ветвей с учетом нагрева рабочим током;
- ЭДС подпитки АД и СД. Поскольку токи КЗ рассчитываются в соответствии с ГОСТ, ЭДС подпитки определяется на основе расчета режима, предшествующего моменту возникновения короткого замыкания;
- состав тока КЗ (Система/АД/СД). В программе упрощенно учитывается затухание тока КЗ от асинхронных и синхронных двигателей. Для каждой точки возможного короткого замыкания определяется та доля тока, которая обусловлена именно подпиткой. Кроме того, определяется сумма номинальных токов двигателей, создающих эту подпитку (в эту сумму не входят двигатели, оказывающие шунтирующее действие на ток КЗ).

Режимные свойства могут определяться по результатам единственного или многовариантного расчета.

Ввод конфигурации сети осуществляется с использованием редактора графов. Графическое изображение сети составляют всего два класса примитивов — это узлы, которые могут изображаться в виде горизонтальных и вертикальных шин или кружка, и ветви, соответствующие объектам (элементам) сети. Каждая

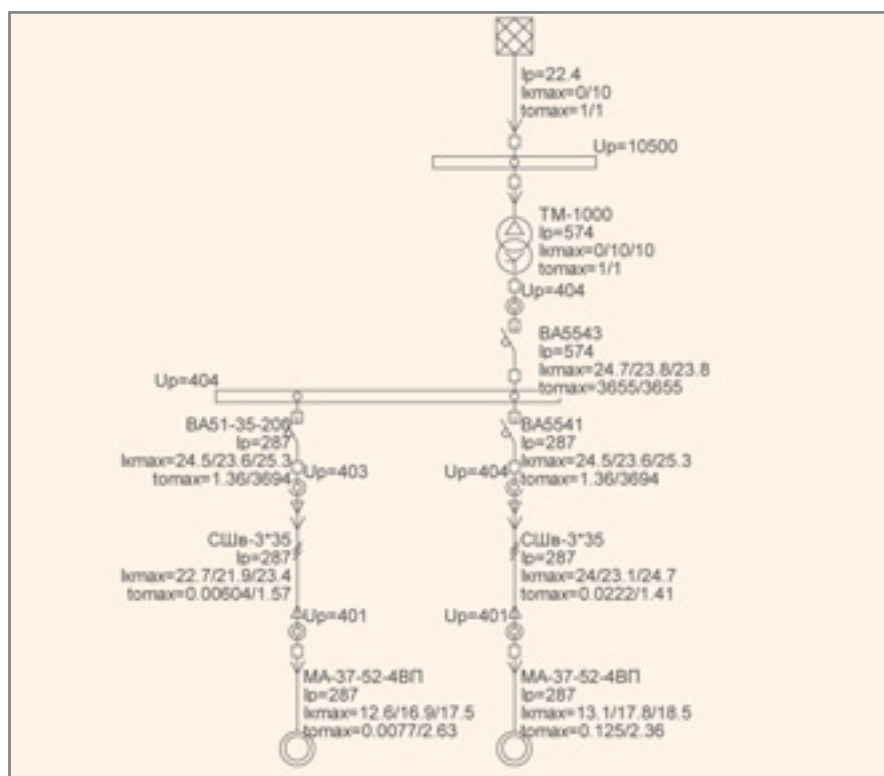


Рис. 2. Пример выполнения рисунка схемы в программе

ветвь может подключаться к одному или двум узлам. Ветвь содержит значок, вид которого определяется моделируемым элементом. Каждый элемент может сопровождаться надписью: списком свойств с их значениями. Список свойств определяется расчетчиком в соответствии с решаемой задачей (рис. 2).

Графическое представление схемы сети оптимизировано для сокращения трудозатрат на ввод конфигурации сети и комплексный анализ ее режимов.

В программном комплексе предусмотрено техническое документирование любых результатов расчетов, что позволяет получать твердые копии участков изображения схемы сети и необходимые таблицы. Полученную информацию можно анализировать уже без компьютера и затрат времени на обдумывание решения. Основное итоговое документирование осуществляется с использованием программ MS Word (для таблиц) и AutoCAD либо подобной графической системы (для графического изображения схемы).

Собственно выходной проектной документацией, получаемой в программном комплексе ElectriCA, являются:

- таблица с обоснованием расчетов по выбору защитных аппаратов и силовых кабелей;
- предварительный кабельный журнал и таблица с перечнем точек присоединения силовых ка-

ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВЩИКА, РАБОТАЮЩЕГО В ПРОГРАММЕ ELECTRICA, СВОДЯТСЯ К СЛЕДУЮЩЕМУ: СОЗДАТЬ РАСЧЕТНУЮ МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ, ВЫБРАТЬ РАЦИОНАЛЬНУЮ СТРУКТУРУ СЕТИ, ОПРЕДЕЛИТЬ НАИБОЛЕЕ КРИТИЧНЫЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ И ПРОАНАЛИЗИРОВАТЬ ОБОРУДОВАНИЕ НА ПРЕДМЕТ ЕГО СООТВЕТСТВИЯ РАССМАТРИВАЕМЫМ РЕЖИМАМ.

белей — для получения полного кабельного журнала с указанием трасс, который формируется в программе кабельной раскладки ElectriCS 3D;

- задание на формирование схем заполнения ячеек распределительных устройств, которое используется для получения в соответствующей программе (например, в ElectriCS ADT) однолинейных электрических

схем, а также схем заполнения ячеек.

Основные задачи проектировщика, работающего в программе ElectriCA, сводятся к следующему: создать расчетную модель распределительной сети, выбрать рациональную структуру сети, определить наиболее критичные режимы работы и проанализировать оборудование на предмет его соответствия рассматриваемым режимам. Оборудование, параметры которого этим режимам не соответствуют, программа покажет специальными значками и цветом, но решение о замене оборудования либо об изменении конфигурации сети проектировщик принимает самостоятельно. Оптимальная конфигурация сети определяется опытным путем, то есть простым переносом одного или множества присоединений из одного узла в другой. При этом может автоматически производиться выбор сечений кабелей в пределах выбранной марки, а также автомата в пределах выбранной серии и подбор уставок настраиваемых автоматов.

Последнее слово всегда остается за специалистом — вплоть до того, что при выборе того или иного оборудования программа оставит неоптимальное решение, если так сочтет нужным проектировщик. Например, может оказаться, что вводной автомат нечувствителен к коротким замыканиям в конце некоего присоединения с кабелем сечением 35 мм². Для обеспечения требуемой чувствительности приходится увеличивать сечение этого кабеля до 120 мм², что нежелательно. Прочие варианты связаны либо с разделением распределительного щита на две секции с короткими сильнозагруженными и длинными малозагруженными кабелями, либо с использованием двух последовательных автоматов с одинаковыми параметрами на одном присоединении. Следует рассмотреть и другие решения: при созданной модели сети затраты времени на анализ возможных вариантов исчисляются минутами.

Н. Б. Ильичев,
к.т.н., доцент
В. А. Серов,
к.т.н., доцент
"Зарубежэнергопроект"