

## КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СОБСТВЕННЫХ НУЖД 0,4 КВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

ИЛЬИЧЕВ Н.Б., КАЛАЧЕВА О.Н., кандидаты техн. наук

Приводится описание алгоритма решения задачи проектирования системы электроснабжения собственных нужд с напряжением 0,4 кВ тепловых электрических станций с использованием компьютерной программы. Выполнение электрического расчета рассматривается как один из этапов комплекса работ, связанных с проектированием собственных нужд станции. Рассматривается перечень расчетных задач, решаемых в комплексе при разработке схемы электроснабжения, и алгоритм их решения при использовании программы.

*Ключевые слова:* система электроснабжения, электрические нагрузки, компьютерная модель.

## THE COMPUTER DESIGN OF POWER STATION AUXILIARY ELECTRICITY SUPPLY SYSTEMS OF 0.4 KW

ILICHEV N.B., Ph.D., KALACHYOVA O.N., Ph.D.

The article concern the algorithm of problem solution for auxiliary power supply system design with the voltage 0.4 kW of power plant with the help of computer program. The carrying-out of electrical calculation is considered as one stage of work package connected with plant auxiliaries design. It contains the list of calculated problems solved as a unit during power supply schedule developing as well as their solution algorithm while using the program.

*Key words:* power supply system, electric loads, computer model.

Проектирование сети электроснабжения собственных нужд (СН) предполагает решение ряда взаимосвязанных задач, которые решаются разными группами специалистов. Ряд этапов проектирования может быть выполнен с использованием программы EnergyCS Электрика.

1. *Определение электрических нагрузок с учетом режимов работы и пространственного размещения потребителей электрической энергии.* На этом этапе выполняется предварительная разработка структуры сети; оценивается необходимое число источников питания и трансформаторов; осуществляется предварительное распределение потребителей по уровням; определяется предварительный состав электротехнического оборудования сети.

2. *Разработка конфигурации схемы распределительной сети.* На этом этапе решаются задачи, связанные с определением:

- расчетных нагрузок элементов;
- потерь напряжения в нормальных режимах, при пусках и самозапущах;
- уровней максимальных токов короткого замыкания (КЗ) для проверки стойкости оборудования;
- уровней минимальных токов КЗ для проверки чувствительности защитных аппаратов.

Кроме того, выполняется предварительный выбор основного оборудования по номинальным токам, по стойкости токам КЗ, по потерям напряжения. Таким образом, решается комплекс вопросов функционального аспекта сети, а также предварительного размещения распределительных устройств в отводимом пространстве зданий и сооружений.

Этапы проектирования выполняются в определенной последовательности, которая может быть представлена блок-схемой, изображенной на рис. 1.

Программа EnergyCS Электрика позволяет решать следующие задачи:

- определение расчетных нагрузок для всех элементов распределительной сети различными методами, включая представленные в «Указаниях по расчету электрических нагрузок РТМ 36.18.32.4-92»;
- расчет рабочих токов в фазных и нулевом проводах четырехпроводной сети по заданным нагрузкам, расчет фазных и линейных напряжений в каждой точке сети, а также определение наибольших отклонений напряжения в установившемся режиме;
- расчет потоков и потерь мощности во всех элементах сети электроснабжения СН 0,4 кВ в установившемся режиме работы;
- расчет величины тепловыделений в проводниках и 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 КЗ и наибольшего значения ударного тока КЗ. Для трехфазных КЗ учитываются возможные подпитки от синхронных и асинхронных двигателей с учетом параметров установившегося режима, предшествующего КЗ;
- определение для каждого элемента сети минимальных токов при однофазном, двухфазном и трехфазном КЗ с учетом сопротивления дуги, а также нагревания токоведущих частей рабочим током и током КЗ (учет теплового спада);
- определение для каждой возможной точки КЗ времени отключения в соответствии с заданными характеристиками срабатывания основных и резервных защитных аппаратов;
- оценка температуры жил проводов и кабелей при рабочих токах и в 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, коммутационных и защитных аппаратов;
- проверка селективности срабатывания защитных аппаратов с зависимой и независимой

от тока характеристикой времени срабатывания, а также построение карт селективности;

- автоматизированный выбор уставок автоматов и номинальных токов плавких вставок предохранителей;
- проверка режимных параметров каждого элемента по условию выхода за допустимые пределы.

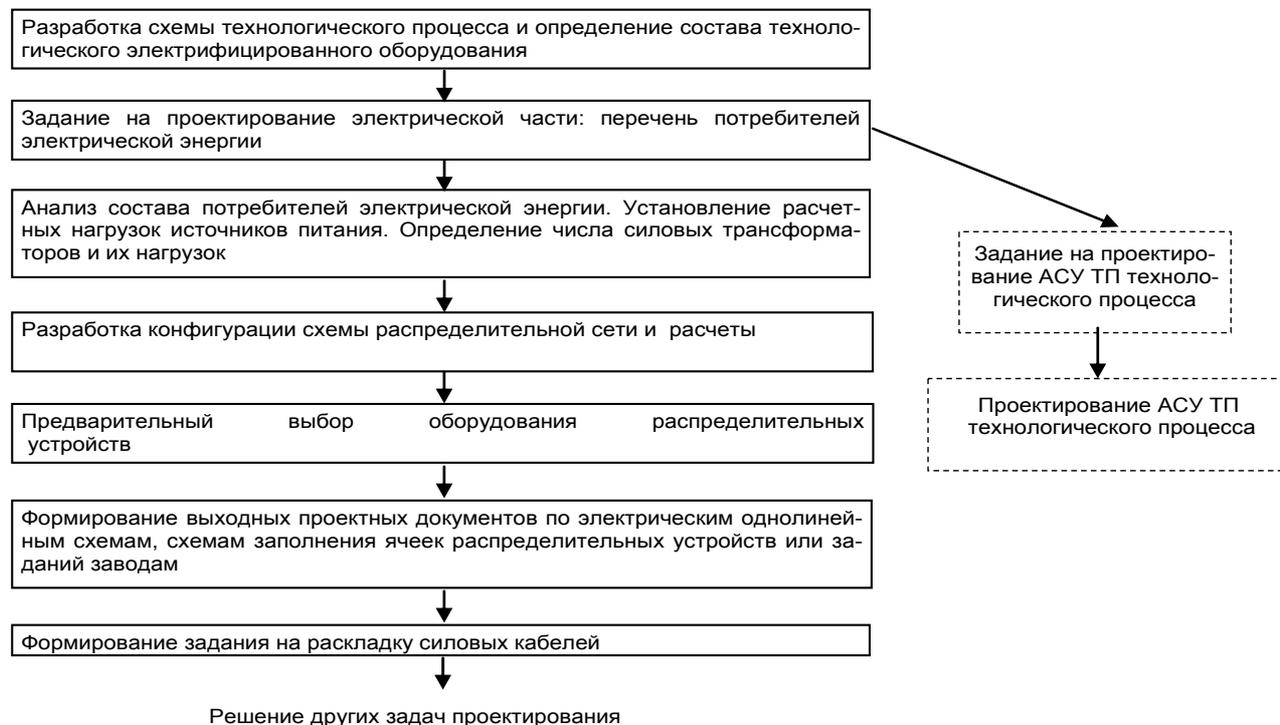


Рис. 1. Блок-схема последовательности проектных процедур при проектировании электрической части системы электроснабжения СН 0,4 кВ

Весь комплекс расчетов выполняется на единой компьютерной модели и позволяет рассматривать множество схемно-режимных состояний. Для внесения в схему модификаций достаточно простым нажатием клавиши мыши изменить состояние коммутационных аппаратов (например, вводных или секционных).

Программу можно использовать и как самостоятельный продукт для выполнения комплексных расчетов, и как компоненту системы автоматизированного проектирования. В первом случае все данные вводятся вручную с использованием графического и табличного редакторов. Во втором формальный ввод информации о перечне потребителей электрической энергии осуществляется из САПР технологического процесса.

Исходными данными, вводимыми в программу, являются перечни потребителей электрической энергии. Перечень может быть представлен в табличной форме. Объем информации в перечне потребителей должен быть достаточен для проектирования электроснабжения объекта и подключения его к АСУ. Как правило, для каждого потребителя здесь отображаются следующие сведения (рис. 2):

- обозначение (для тепловых и атомных станций это может быть код по системе KKS);
- код группы (признак идентичности параметров нескольких потребителей, выполняющих одинаковую функцию и имеющих одинаковые параметры);
- наименование;

- номинальная мощность;
- номинальное напряжение;
- коэффициент мощности ( $\cos\varphi$ );
- коэффициент загрузки электроприемника;
- пусковой ток;
- ожидаемое время пуска при номинальном напряжении;
- ожидаемое время пуска при пониженном напряжении ( $80\% U_{ном}$ );
- информация о режиме работы;
- признак необходимости участия в самозапуске;
- признак необходимости АВР;
- признак необходимости управления от центрального программно-технического комплекса (ПТК – DCS);
- признак и способ местного управления;
- наличие аварийной местной кнопки Стоп;
- заводской тип двигателя (если определен);
- режим работы устройства и др.

Часть этих параметров необходима для выполнения расчета, а часть предназначена для передачи на следующий этап проектирования (например, для выбора блоков управления и решения конструкторского аспекта проектирования распределительных устройств).

При вводе все электроприемники делятся на группы по принципу одинаковости и возможности взаимного резервирования. Так, если для обеспечения нормального технологического процесса необходимы три насоса, а по условиям обеспечения требуемого уровня надежности и резервирования принято решение об установке пяти, то все эти пять насосов образуют одну группу.

№	Обозначение группы ЭП	Наименование электроприемника	Вид	Тип мотора	Уном В	AC DC	Число фаз	Рном кВт
1	Y0EGC13AP001	Насос перекачки легкого мазута в расходные баки парогенератора	АД	АД-45-0.69	690	AC	3	45
2	Y0EGC16AP001	Насос перекачки легкого мазута в расходный бак газовой турбины	АД	АД-7.5-0.69	690	AC	3	7.5
3	Y0ENC11AP001	Насос перекачки дренажей тяжелого и легкого мазута	АД	АД-5.5-0.69	690	AC	3	5.5
4	Y0ENC15AP001	Насос перекачки тяжелого мазута	АД	АД-45-0.69	690	AC	3	45
5	Y0UEL13AE001	Ворота стальные для автомобильного транспорта	АД	АД-0.25-0.23	230	AC	3	0.25
6	Y1GKE_AC001	Электрический проточный водонагреватель Q=114л/ч	Нагреватель		400	AC	3	4
7	Y1GKE AC002	Электрический проточный водонагреватель Q=430л/ч	Нагреватель		400	AC	3	15

№	Обозначение	Наименование электроприемника	Фаза	X м	Y м	Z м	ИП №	Ветвь
3.2	Y0ENC12AP001	Насос перекачки дренажей тяжелого и легкого мазута	ABCN	0	0	0	2	70.2
4.1	Y0ENC15AP001	Насос перекачки тяжелого мазута	ABCN	5	11	0	2	72.2
4.2	Y0ENC16AP001	Насос перекачки тяжелого мазута	ABCN	5	9	0	2	74.2
4.3	Y0ENC17AP001	Насос перекачки тяжелого мазута	ABCN	5	7	0	2	76.2
5.1	Y0UEL13AE001	Ворота стальные для автомобильного транспорта	ABCN	1	15	3	1	86.2
5.2	Y0UEL13AE002	Ворота стальные для автомобильного транспорта	ABCN	13	15	3	1	88.2
5.3	Y0UEL13AE003	Ворота стальные для автомобильного транспорта	ABCN	19	15	3	1	90.2
6.1	Y1GKE AC001	Электрический проточный водонагреватель Q=114л/ч	ABCN	26	3	1	1	92.2

№	Обозначение	Уном В	Цвет	Sp кВА	Pr кВт	Qr квар	Ip А	Ветвь
1		6000		128	116	54.2	12.3	1.0
2	от Y0BCB	10000		511	484	166	29.5	4.0
3	от B0BMA	660		0	0	0	0	104.0

Узел-99 Ветвей-137 Режим-1111 Расчет :ИП1; ИП2; ИП3;

Рис. 2. Перечень потребителей, распределенный по группам одинаковых, взаиморезевирующих потребителей

В таблице групп содержатся все основные параметры потребителей электрической энергии, а в таблице электроприемников – только индивидуальные параметры каждого насоса (например, уникальное обозначение, пространственные координаты (X, Y, Z) и др.).

В начале проектирования сети проектировщику необходимо распределить электроприемники по источникам питания, а однофазные – еще и по фазам. В первом случае должна быть учтена необходимость питания взаиморезервирующих технологических устройств от двух разных независимых источников питания, а именно, трансформаторов СН 6/0,4 кВ. Под источником питания в данном случае будет пониматься секция СН 6 кВ, связь с которой осуществляется через понижающие трансформаторы. При распределении нагрузок должна быть обеспечена равномерная загрузка трансформаторов. От автономных генераторов и аккумуляторных батарей питаются наиболее значимые электроприемники, требующие гарантированного питания.

Результаты оценки расчетных нагрузок (рис. 2) позволяют сразу оценить загруженность потребителя, а также необходимую мощность понижающего трансформатора и автономных источников энергии.

При распределении однофазных электроприемников по фазам необходимо обеспечить равномерность загрузки фаз.

Задача проектировщика на этапе функционального проектирования схемы электроснабжения состоит в разработке конфигурации сети и выборе оборудования, способного обеспечить заданные функциональные характеристики:

- надежное электроснабжение всех электроприемников, представленных в исходных данных;
- коэффициенты загрузки всего сетевого оборудования с учетом поправки на температуру окружающей среды в соответствии с заданием;

- равномерное распределение по фазам при несимметричной нагрузке;
- соответствие отклонений напряжения во всех нормальных и послеаварийных режимах, а также при нормальных пусках механизмов напряжением, оговоренным в задании; возможность их регулировки предусмотренными средствами регулирования напряжения;
- термическую стойкость к наибольшим токам КЗ в течение времени действия основных защит, исключающую аварии, связанные с возгоранием кабелей, при отказе основных и срабатывании резервных защит;
- стойкость к динамическим воздействиям токов КЗ;
- чувствительность к минимально возможным токам КЗ, которые должны отключаться соответствующими защитами;
- согласованность защит разного уровня по селективности.

Реализация перечисленных характеристик часто осложнена тем, что они могут противоречить друг другу. Как показывает практика, при проектировании без подобных программ, как правило, весь комплекс требований не выполняется, или допускается неселективность в отдельных частях схемы, или оборудование оказывается нестойким при отказах защит и т.п.

Такие «огрехи проектирования» часто выявляются и исправляются в процессе пусконаладочных работ, но могут остаться незамеченными.

В EnergyCS Электрика ввод конфигурации схемы выполняется с использованием встроенного графического редактора. При этом в любой момент возможен расчет режима уже введенной части схемы и уточнение ее параметров. Схема и

результаты расчета отражаются на экране как в таблицах, так и в рабочем окне редактора, как показано на рис. 3.

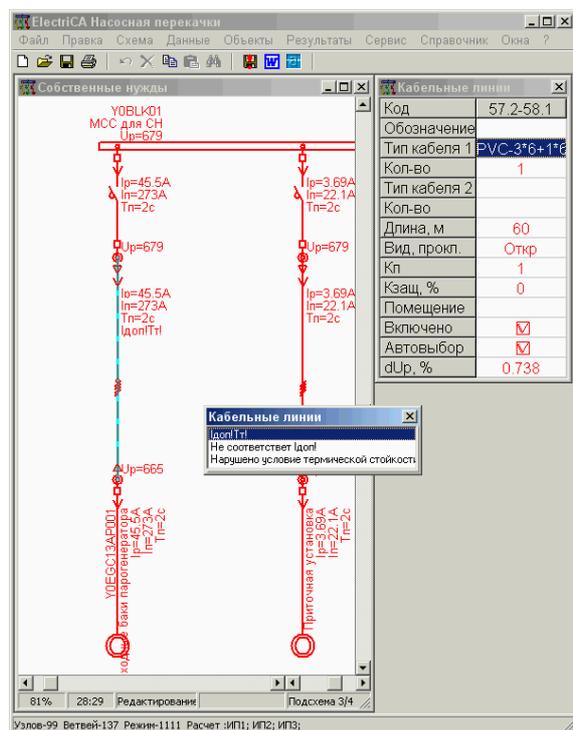


Рис. 3. Часть схемы сборки YOBVK01 насосной станции

Схема электроснабжения может быть визуально разбита на множество страниц. Так, на одной странице может быть расположена главная часть схемы распределительной сети, а на других – отдельные сборки с перечислением всех присоединений.

Выполнение расчетов осуществляется заданием соответствующей команды главного или контекстного меню либо нажатием кнопки «!» панели инструментов. В программе всегда выполняется комплексный расчет. В любой момент доступна вся совокупность режимных параметров каждого элемента сети, на основе которых осуществляется выбор или проверяется пригодность для выполнения той или иной функции. Расчетчик только управляет видимостью параметров на схеме и в таблицах.

Контроль параметров, вышедших за допустимые пределы, выполняется при каждом комплексном расчете. Результаты проверки могут быть выведены на схему в виде специальных строк, которые содержат коды нарушенных условий. Например, левый кабель, изображенный на рис. 3, не соответствует предъявляемым требованиям к допустимому току и термической стойкости. Об этом свидетельствует строка «Idop!Тт!», появившаяся на схеме. Расшировку кодов, которые выводят на все проблемные

*Калачева Ольга Николаевна,*

ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
кандидат технических наук, доцент кафедры электрических станций, подстанций и диагностики электрооборудования,  
телефон (4932) 26-99-43,  
e-mail: kafedra@esde.ispu.ru

*Ильичев Николай Борисович,*

ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
кандидат технических наук, доцент кафедры электрических станций, подстанций и диагностики электрооборудования,  
телефон (4932) 26-99-43,  
e-mail: kafedra@esde.ispu.ru

элементы, можно получить в отдельном окне, как показано на рис. 3. Одновременно возможно и цветное представление схемы: элементы, режимные значения которых не вписываются в допустимые пределы, окрашены в красный цвет, а отвечающие заданным параметрам – в черный.

Часто для получения приемлемого решения приходится изменять изначально выбранную конфигурацию сети. Использование компьютерной модели позволяет произвести такое изменение с минимальными затратами: время тратится в основном на обдумывание и принятие решений.

Результаты вычислений могут быть представлены и в графическом виде, и в виде текстовых табличных документов. Однако окончательные документы целесообразно формировать с использованием программ AutoCAD или MS Word. Специальный инструмент позволяет непосредственно из программы EnergyCS Электрика передать изображение в AutoCAD (в настоящее время такую передачу можно осуществить только для AutoCAD 2004–2005). Формат DXF поддерживается любой версией Windows. При любом способе передачи информация о цвете транслируется в слои, что позволяет после несложной настройки получить цветное изображение чертежа в AutoCAD и MS Word.

Результаты в табличной форме могут быть непосредственно выведены на принтер. Однако для оформления итоговой документации на основе расчетов целесообразно воспользоваться внешней программой, например, MS Word с применением заранее заготовленных шаблонов.

## Заключение

Программа EnergyCS Электрика продолжительное время используется целым рядом проектных организаций (Атомэнергопроект, Зарубежэнергопроект и др.), при этом имеет место не только существенное снижение трудозатрат, но и повышение качества принятых проектных решений за счет комплексности подхода к решению поставленных задач.

В настоящее время этот программный комплекс используется на кафедре электрических станций и диагностики электрооборудования ИГЭУ при изучении дисциплины «Автоматизация проектирования электрической части станций и подстанций», а также в дипломном проектировании непосредственно для выполнения расчетов сетей ниже 1000 В. В учебном процессе применение EnergyCS Электрика помогает студентам осознать комплексность решаемой проектной задачи и освоить навыки использования разнородных программ в их взаимодействии для получения проектных решений и оформления проектной документации.