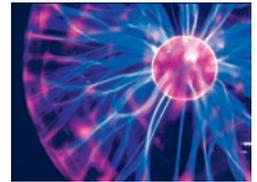


# Объектное моделирование для проектирования развития электроэнергетической системы с использованием программного комплекса EnergyCS



## Введение

В практике проектирования развития электрических сетей наибольшее распространение получили так называемые оценочные модели, которые используются следующим образом: проектировщик намечает для сравнения конечное число вариантов развития, после чего по каждому из вариантов выполняются расчет и анализ технико-экономических показателей (критериев). Получение таких показателей является одной из трудоемких задач, существенно ограничивающих количество рассматриваемых вариантов, среди которых действительно оптимального решения может не оказаться. Решением этой проблемы будет создание модели, приспособленной для поиска оптимальных вариантов. Реализация модели возможна в программном комплексе EnergyCS.

## Программный комплекс EnergyCS

Программный комплекс EnergyCS, разработанный при участии авторов этой статьи, состоит из трех независимых модулей: EnergyCS ТКЗ предназначен для расчетов токов короткого замыкания, EnergyCS Режим выполняет расчеты установившегося режима, а EnergyCS Потери выполняет расчет потерь энергии. При этом в программном комплексе используется единая модель, сформированная на основании объектного подхода с использованием базы данных оборудования.

Объектный подход к формированию модели состоит в том, что модель системы собирается из отдельных объектов, элементов сети, обладающих набором свойств-параметров. Параметры каждого элемента можно разделить на топологические, условно-графические, схемные и режимные. Схемные параметры вводятся индивидуально или определяются по паспортным данным с использованием базы данных справочника. Содержащаяся в модели информация по оборудованию может быть избыточной

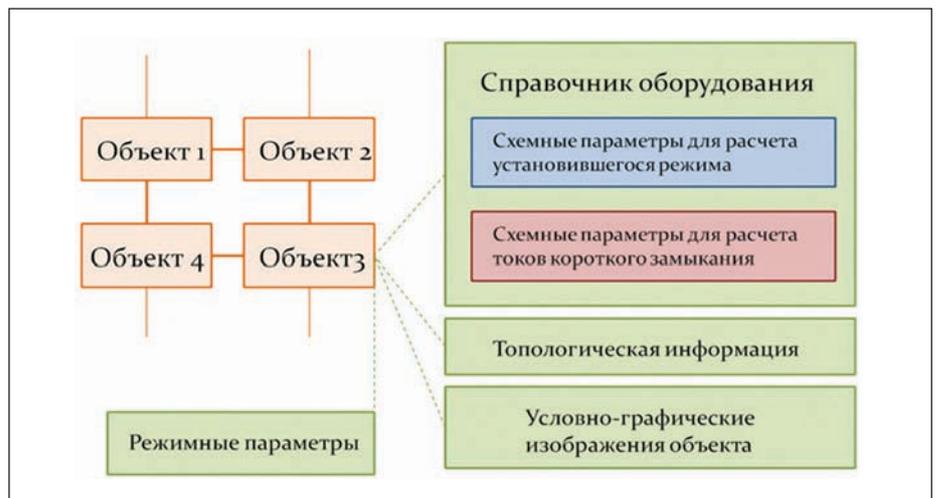


Рис. 1. Структура взаимосвязей объектов информационной модели

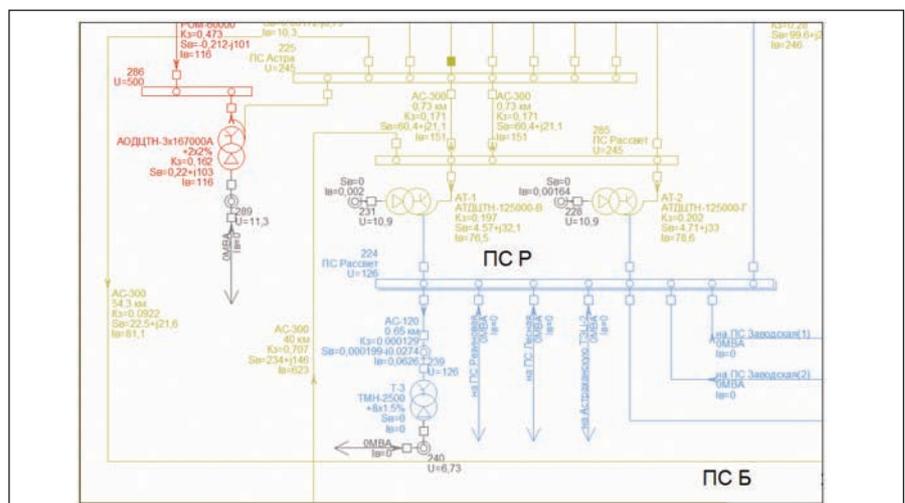


Рис. 2. Пример схемы, подготовленной с использованием объектного подхода

относительно текущего расчета, но использоваться будут лишь те параметры, которые для этого расчета актуальны. К примеру, сопротивление нулевой последовательности элемента хранится в модели, но будет востребовано лишь при расчете несимметричных коротких замыканий.

Поскольку в программном комплексе EnergyCS применен объектный способ

ввода модели, расчетная схема создается не как схема замещения, ориентированная на решаемую задачу, а графически, как схема электрическая однолинейная. Для каждого объекта вводится совокупность свойств, в том числе с использованием справочных данных оборудования. Взаимосвязи объектов модели показаны на рис. 1, а вид изображения схемы – на рис. 2.

Так как в объектной модели есть доступ и к параметрам режима, и к справочной базе данных оборудования, эта модель может быть адаптирована к функции автоматического выбора оборудования, что очень важно для решения задач оптимизации на ее основе. Кроме того, расширение спектра решаемых задач возможно путем увеличения числа свойств объекта без видимых изменений модели. При этом модель сохранит весь объем исходных данных для решения старых задач (например, расчета режима), сможет выполнить соответствующие расчеты, а визуально будет иметь вид электрической однолинейной схемы.

### Моделирование состояния сети во времени

Так как расширение и развитие электросетевого района растянуто во времени, при формировании вариантов его развития важны учет времени и процесс изменения во времени самой схемы и статуса ее объектов.

Таким образом, в информационную модель необходимо добавить новую сущность – период времени, – которая в качестве параметров имеет дату, начиная с которой данный период активен и все элементы, вводимые в этот период, задействованы. Одновременно для каждого элемента предусматриваются два дополнительных свойства: период ввода и состояние на момент ввода. Последнее может принимать значение согласно статусу элемента в рассматриваемый период: "существующий", "новый", "демонтированный".

По значению свойства "Период" определяется время, начиная с которого элемент вводится в эксплуатацию, или время вывода из эксплуатации в связи с демонтажом объекта. Графически на схеме это выглядит так, как показано на рис. 3 и 4. Если текущее состояние элемента определено как "существующий", то на схеме (рис. 3) можно видеть запланированную линию (отмечена кружками), которая не участвует в расчете. На схеме, показанной на рис. 4, для той же модели включен режим первого периода, когда новая линия уже введена, а одна из существующих линий демонтирована (отмечено крестиками).

По значению свойства "Состояние" определяется время, начиная с которого элемент вводится в эксплуатацию, и время демонтажа объекта. Для элементов, которые определяют нагрузку сети, предусматривается описание тренда изменения по периодам. Тренд задается вектором коэффициентов роста нагрузки по соответствующим периодам (возможно, с указанием отдельных коэффициентов по активной и реактивной мощностям).

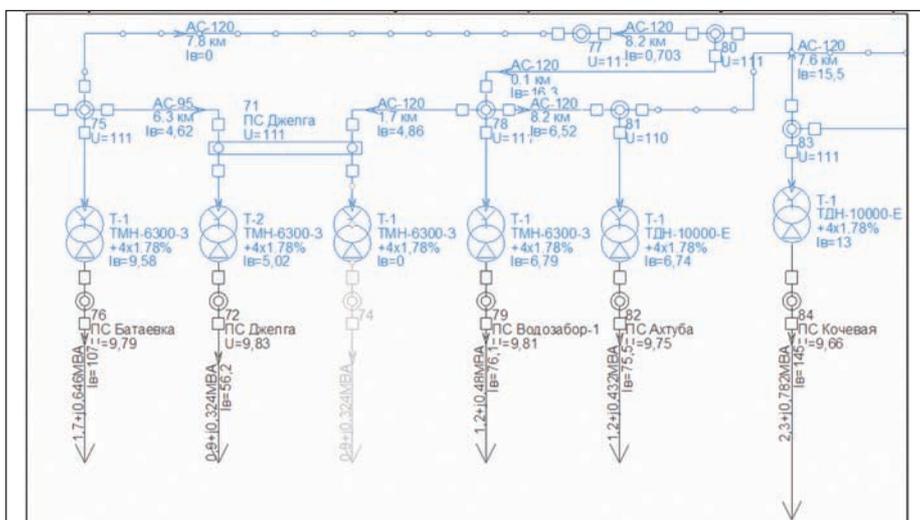


Рис. 3. Пример изображения режима для базового периода

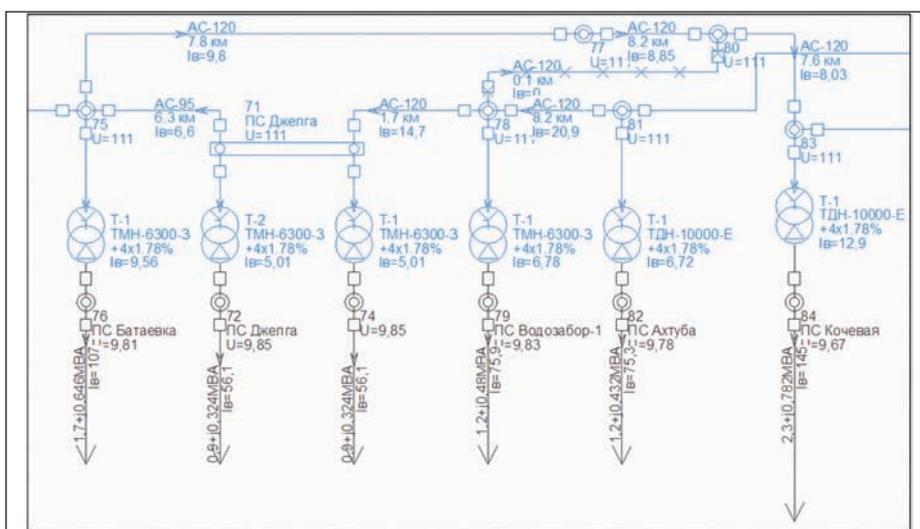


Рис. 4. Пример изображения режима для периода, отличного от базового

Включение в модель сущности "Период ввода" позволяет формировать отчеты по расчету установившихся режимов, ТКЗ и т.п. по периодам в едином документе – с указанием состояния, как было и как стало.

### Оптимизационная модель

Поиск оптимальных решений при формировании варианта развития сети требуется для решения разнообразных задач, поэтому оптимизационная модель должна быть универсальной.

В условиях развитой информационной модели, когда доступны и режимные и схемные параметры с учетом номенклатуры оборудования, возможен автоматизированный перебор вариантов сети. Например, автоматизированный перебор используемого оборудования. В этом случае нет необходимости строить на основании объектной информационной модели особую модель для оптимизации – достаточно обозначить целевую функцию, варьируемые параметры и ог-

раничения. Оптимизация проводится на уровне реальных элементов сети, а в качестве результата проектировщик получает необходимый состав оборудования или места его установки в сети. В этой задаче применимы методы упорядоченного перебора (метод ветвей и границ) или поисковые методы, такие как метод покоординатного спуска или деформируемого многогранника [3]. Простейшей задачей, решаемой такой моделью, является выбор оптимальных точек размещения компенсирующих устройств. В качестве варьируемых параметров могут выступать возможные точки размещения компенсирующих устройств, а также число и мощность этих устройств. В качестве целевой функции – минимум дисконтированных затрат, в качестве ограничений – предельно допустимые значения токов и напряжений, что требует расчета и анализа установившегося режима. Выбор целевой функции зависит от цели, которую преследует проектировщик:

в этом качестве могут рассматриваться как схемные (оптимальное сопротивление), так и режимные параметры (минимум тока короткого замыкания, минимум потерь мощности).

Особый интерес для оптимизации при планировании развития сети представляют в качестве целевой функции технико-экономические показатели. Однако для использования таких показателей требуется дополнить имеющуюся модель необходимой информацией для их определения. Совокупность исходных данных и расчетных блоков, нацеленных на получение технико-экономических показателей, составляет затратную модель.

### Затратная модель

Основой формирования затратной модели является расчет следующих показателей:

- суммарные капиталовложения  $K_{ii}$ ;
- дисконтированные затраты, вычисленные по [1] как

$$Z = \sum_{t=1}^T (K_{ii} + I_{ii})(1+E)^{-t},$$

где  $I_{ii}$  – издержки за год;  $K_{ii}$  – суммарные капиталовложения;  $E$  – норма дисконта;  $t$  – текущий год;  $T$  – период строительства и эксплуатации;

- чистый дисконтированный доход:

$$ЧДД = \sum_{t=1}^T \frac{D_{ii} + D_{mii} - I_{ii} - K_{ii} - Y_t}{(1+E)^t},$$

где  $D_{ii}$  – суммарный доход в год  $t$ , включающий плату за электроэнергию, получаемую от потребителей;  $D_{mii}$  – плата потребителя электроснабжающей организации за имеющуюся степень надежности;  $Y_t$  – ущерб от перерывов электроснабжения.

Суммарные капиталовложения можно найти как сумму капиталовложений по элементам сети. Для оценки постоянной части капитальных затрат необходимо

ввести понятия "электростанция" и "подстанция" применительно к участкам модели сети, а численные значения могут определяться на основе анализа состава и структуры оборудования, входящего в подстанцию. Эксплуатационные издержки на текущий ремонт и обслуживание рассчитываются с использованием нормы отчислений, определенной для каждого класса оборудования. Эксплуатационные издержки, связанные с покрытием технических потерь электроэнергии, определяются по результатам расчета установившегося режима максимальных нагрузок и по оценочному значению времени максимальных потерь, которое может либо рассматриваться как нормативная величина для соответствующего района, либо вычисляться по совокупным графикам электропотребления.

Неотъемлемой частью затратной модели может считаться расчет ущерба от перерыва электроснабжения, включенный в чистый дисконтированный доход. Данные для определения ущерба, такие как параметр потока отказов  $\omega_B$ , частота ремонта  $\omega_{II}$ , время восстановления при аварийном  $T_B$  и при плановом ремонте  $T_{II}$ , могут быть рассмотрены как дополнительный набор свойств, необходимый для создания затратной модели.

Структура формирования этих параметров показана на рис. 5.

Стоит отметить, что технико-экономические показатели значимы не только как сложная целевая функция для решения оптимизационных задач. Их автоматизированный подсчет должен облегчить работу проектировщика.

В рамках решения задач оптимизации расчет технико-экономических затрат напрямую способен качественно изменить процесс проектирования. Так, принятие некоторых решений становится

возможным без косвенных величин – например таких, как экономическая плотность тока.

### Заключение

Представленные решения, основанные на использовании объектной информационной модели, являются эффективным и гибким инструментом для принятия решений при проектировании и эффективны для применения в эксплуатации.

Моделирование состояния сети по времени позволяет анализировать серии перспективных состояний сети на единой модели, что обеспечивает сокращение трудозатрат и повышение качества проектирования.

Затратная модель предназначена для автоматизированного определения технико-экономических показателей и определения значений целевых функций в задачах оптимизации.

### Литература

1. Файбисович Д.Л. Справочник по проектированию электрических сетей. Издание 2-е, переработанное и дополненное. – М.: НЦ ЭНАС, 2006.
2. Ильичев Н.Б., Ильичева Е.Н. Информационная модель электроэнергетической сети при проектировании развития с использованием программного комплекса EnergyCS // Автоматизация проектирования систем электроснабжения и автоматики на базе решений группы компаний CSoft. Сб. статей/ЗАО СиСофт-Иваново, ЗАО СиСофт. – М.: 2011. – 253 с.
3. Шуп Т. Решение инженерных задач на ЭВМ. Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – 238 с.

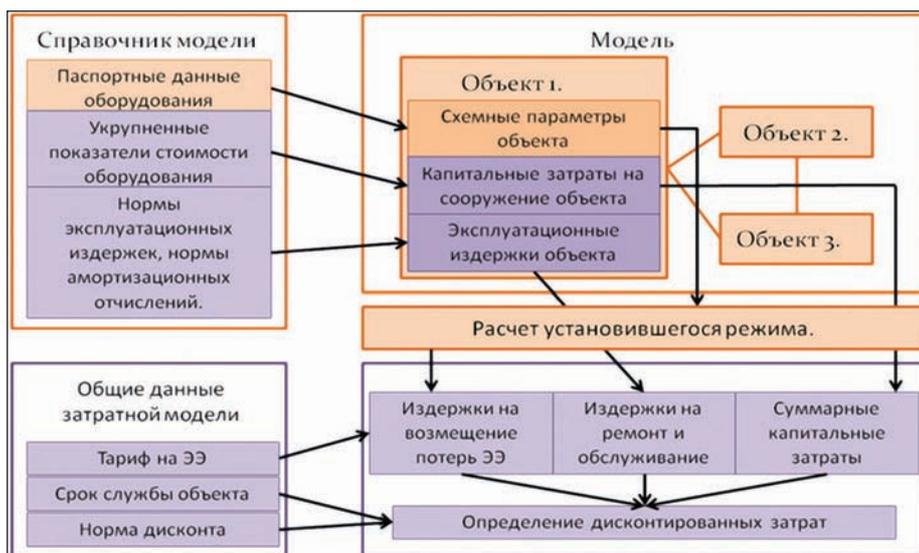


Рис. 5. Структура затратной модели

Николай Ильичев,  
к.т.н.  
CSoft Иваново,  
главный специалист

Анатолий Кулешов,  
к.т.н.,  
доцент кафедры "Электрические системы"  
Ивановского государственного  
энергетического университета

Елена Ильичева,  
CSoft Иваново,  
специалист

Тел.: (4932) 33-3698  
E-mail: ilichev@ivanovo.csoft.ru