

## ОПТИМИЗАЦИЯ ТОПОЛОГИИ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА И АРКТИКИ

*Хоютанов А.М., Давыдов Г.И., Васильев П.Ф.*

*Институт физико-технических Севера СО РАН, Якутск, Россия*

**Ключевые слова:** северные территории, оптимизация, электрическая сеть, топология.

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются принципы оптимизации топологии электрических сетей удаленных и труднодоступных территорий северо-востока России. Предлагается использование оптимизационных методов, основанных на принципах математического программирования, позволяющее определить оптимальные с точки зрения экономической эффективности пути повышения качества электрической энергии и уменьшения потерь активной мощности.

## OPTIMIZATION OF THE TOPOLOGY OF THE POWER GRID INFRASTRUCTURE IN THE CONDITIONS OF THE NORTH AND THE ARCTIC

*Khoiutanov A.M., Davydov G.I., Vasilyev P.F.*

*Institute of Physics and Technology of the North SB RAS, Yakutsk, Russia*

**Keywords:** northern territories, optimization, electrical network, topology.

**Abstract.** This article discusses the principles of optimizing the topology of electrical networks in remote and hard-to-reach areas of the North-East of Russia. The use of optimization methods based on the principles of mathematical programming is proposed, which makes it possible to determine the optimal ways from the point of view of economic efficiency to improve the quality of electrical energy and reduce active power losses.

Электроснабжение труднодоступных территорий северо-востока России, в частности Республики Саха (Якутия), осуществляется в основном от секций шин 6 (10) кВ понижающих подстанций, подводящих электрическую энергию от дизельных электрических станций (ДЭС) к районным центрам муниципальных образований (рис. 1) [1]. Данные электропередачи имеют из-за природно-климатических особенностей региона большую протяженность воздушных линий электропередачи (ВЛ), характеризуются перегрузкой трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ внутри районных центров, недогрузкой в относительно небольших сельских поселениях, а так же несоответствием в определенных отрезках сечения проводов передающейся мощности, что приводит к увеличенным потерям активной мощности в цепочке «секция шин 10 кВ подстанции» – «конечный потребитель», слабой надежностью электропередачи и не эффективной работой ДЭС [2].

Для решения данной проблемы предлагается использование оптимизационных методов, основанных на принципах математического программирования, позволяющее найти экстремальные значения целевой функции, которая является формализованным математическим описанием или моделью, раскрывающей протекающие в указанных распределительных сетях процессы.

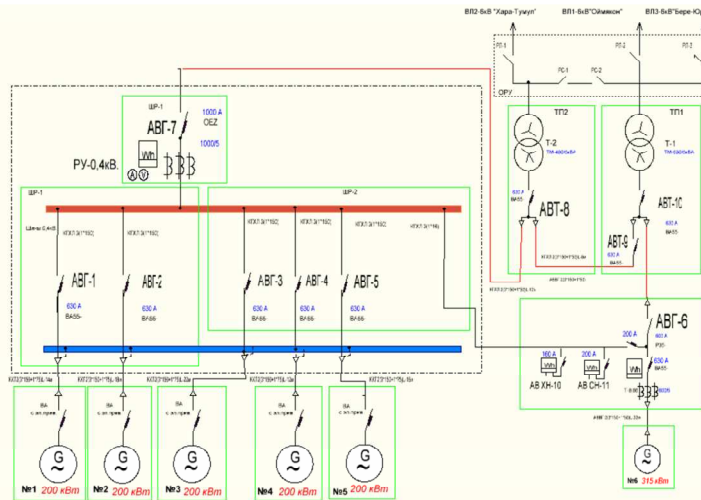


Рис. 1. Схема выдачи электрической энергии

Целевая функция в данном случае представляет собой функцию, для которой требуются определить экстремумы в зависимости от критериев оптимальности, таких как: минимум потерь активной мощности в электрических сетях, оптимальное расположение центров питания, подбор оптимального сечения проводника, подбор оптимальной трассы для питания центров питания или конечных потребителей и т.д. В единой целевой функции возможно применения в качестве критерия оптимальности минимального значения суммарных приведенных затрат, но для упрощения вычислительной нагрузки предлагается разбить имеющуюся задачу по оптимальному электроснабжению сельских поселений на несколько блоков, которые будут взаимодействовать между собой с помощью исходных и выходных данных.

Основные параметры, которые сведены в отдельные расчетные блоки:

- построение картограммы и определение условного центра электрических нагрузок;
- выбор места расположения распределительных пунктов и трансформаторных подстанций;
- схемы питающих и распределительных сетей;
- выбор сечений проводников на высокой и низкой классах напряжения.

Для сопоставления физических параметров, например, геометрических размеров участка электроснабжения, длин линий электропередачи, определения фактического места установки центров питания или введения дополнительных ограничений по размещению объектов электроэнергетической инфраструктуры, с расчетными параметрами, требуется совместить генеральный план с координатной плоскостью и обозначить координаты, размещаемых объектов по оси абсцисс и ординат в о.е.

Далее идет ввод исходных данных.

Пример оптимального проектирования схемы электроснабжения показан в работе [2].

Производится проектирование схемы электроснабжения сельского поселения. Определены требуемая мощность конечных потребителей и располагаемый резерв мощности близлежащих трансформаторных подстанций. Известны также расстояния от питаемых объектов до каждой трансформаторной подстанции. Требуется определить оптимальную с точки зрения минимума приведенных затрат схему электроснабжения предлагаемого района.

Приведенные годовые затраты на сооружение и эксплуатацию электрической сети определяются по выражению:

$Z_{\text{пр}} = p_H K + C_{\text{э}}$ , руб, где  $p_H$  – нормативный коэффициент капитальных вложений;  $K$  – капитальные вложения;  $C_{\text{э}}$  – стоимость потерь электроэнергии в проводах ЛЭП.

Величина капитальных вложений на сооружение ЛЭП зависит от ее сечения и длины:

$K = (a + b \times S) \times l$ , руб, где  $a, b$  – расчетные коэффициенты;  $S, l$  – сечение и длина ЛЭП соответственно.

Стоимость потерь электрической энергии в проводах ЛЭП определяется законом Джоуля-Ленца:

$C_{\text{э}} = 3 \times I^2 \times R \times \zeta \times t$ , где  $I, R$  – ток в фазе линии и ее активное сопротивление;  $\zeta$  – отпускная цена кВт·ч электрической энергии;  $t$  – число часов работы линии в год.

Активное сопротивление линии можно определить по выражению

$R = \rho \frac{l}{S}$ , где  $\rho$  – удельное сопротивление материала провода. Сечения

проводников в сетях высокого напряжения определяются по экономической плотности тока:

Для  $n$  участков электрической сети суммарные приведенные затраты определяются выражением:

$Z_{\text{пр}} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n k_1 \times l_{i,j} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n k_2 \times l_{i,j} \times I_{i,j}$ , где  $I_{i,j}$  – ток, потребляемый  $j$ -м

потребителем с  $i$ -й подстанции;  $l_{i,j}$  – расстояние от  $j$ -го потребителя до  $i$ -й подстанции;  $k_1, k_2$  – постоянные коэффициенты.

Для достижения минимальных приведенных затрат достаточно минимизировать второй член уравнения, при этом значение коэффициента  $k_2$  можно не учитывать. С учетом того, что ток в линии прямо пропорционален передаваемой по ней мощности, получим выражение целевой функции решаемой задачи:

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n P_{i,j} \times l_{i,j} \rightarrow \min .$$

Требуется найти минимум целевой функции при следующих ограничениях.

1. Суммарная мощность, потребляемая всеми потребителями с одной подстанции должна быть равна располагаемой мощности подстанции

2. Суммарная мощность, передаваемая всеми подстанциями одному потребителю должна быть равна требуемой мощности этого объекта

3. Величина мощности, передаваемой по линии должна быть положительной.

Перед решением задачи необходимо проверить баланс располагаемой и требуемой мощности и при необходимости привести задачу к сбалансированной.

### Список литературы

1. Давыдов Г.И., Хоютанов А.М., Васильев П.Ф., Местников Н.П. Новые типы подстанций на напряжение 6-10/0,4 КВ в распределительных сетях децентрализованного электроснабжения Республики Саха (Якутия) // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2022. – URL: <http://e-koncept.ru/2022/0.htm>.
2. Давыдов Г.И., Хоютанов А.М., Васильев П.Ф., Кобылин В.П. Протяжённые электропередачи с рассредоточенными малыми нагрузками // Энергетик. – 2020. – № 1. – С. 17-20.
3. Обухов С.Г. Математическое моделирование в системах электроснабжения. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 74 с.

### References

1. Davydov G.I., Khoiutanov A.M., Vasiliev P.F., Mestnikov N.P. New types of substations for a voltage of 6-10 / 0.4 kV in the distribution networks of decentralized power supply of the Republic of Sakha (Yakutia) // Scientific and methodological electronic journal "Concept". – 2022. – URL: <http://e-koncept.ru/2022/0.htm>.
2. Davydov G I., Khoiutanov A.M., Vasiliev P.F., Kobylin V.P. Extended power transmission lines with dispersed small loads // Energetik. 2020, no. 1, pp. 17-20.
3. Obukhov S.G. Mathematical modeling in power supply systems. – Tomsk: Publ. house of Tomsk Polytechnic University, 2014. – 74 p.

<b>Хоютанов Александр Михайлович</b> – научный сотрудник	<b>Khoiutanov Aleksandr Mikhailovich</b> – researcher
<b>Давыдов Геннадий Иванович</b> - научный сотрудник	<b>Davydov Gennady Ivanovich</b> – researcher
<b>Васильев Павел Филиппович</b> – кандидат технических наук, заведующий отделом	<b>Vasilyev Pavel Filippovich</b> – candidate of technical sciences, head of Department
a.m.khoiutanov@mail.ru	

*Received 20.11.2022*