

УДК 621.316.11

ББК 31.279

ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫБОРА МЕСТ РАЗМЫКАНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Малошенко А. А.¹

(Дзержинский политехнический институт (филиал) «Нижегородского государственного технического университета имени Р.Е. Алексеева», Дзержинск)

Вуколов В. Ю.², Папков Б. В.³

(«Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева», Нижний Новгород)

Задача выбора оптимального места размыкания в распределительной электрической сети является многокритериальной, требующей особого подхода к её решению. Правильно выбранное место размыкания позволяет существенно уменьшить потери электрической энергии и одновременно повысить надежность передачи электрической энергии потребителю. Подход к решению данной задачи опробован на существующей распределительной сети, а полученные результаты свидетельствуют о повышении эффективности электроснабжения потребителей.

Ключевые слова: электроэнергетика, распределительные электрические сети, выбор места размыкания, эффективность передачи электрической энергии, надежность электроснабжения.

¹ Александр Альбертович Малошенко, студент (Нижегородская область, г. Дзержинск, б-р Мира д. 30, vzlot@mail.ru).

² Владимир Юрьевич Вуколов, кандидат технических наук, доцент, (vvicolov@mail.ru)

³ Борис Васильевич Папков, доктор технических наук, профессор, (parkov@nntu.nnov.ru)

1. Вводные замечания

В настоящее время в Нижегородской области только около 50% электрической энергии вырабатывается на собственных объектах генерации. За счет строительства новых генерирующих мощностей правительство области планирует уменьшить дефицит электрической энергии в области. Так, к 2030 году будет построена и введена в эксплуатацию атомная электростанция в Навашином муниципальном районе, с двумя генераторами общей мощностью 2300 МВт. Планируется строительство и ввод в эксплуатацию ветряной электростанции мощностью 350 МВт.

Решение проблемы дефицита мощности за счет увеличения мощности генерации, безусловно, возможно, однако это потребует больших инвестиций.

Одним из направлений частичного решения данной проблемы является уменьшение потерь электроэнергии в уже существующих сетях. Этот подход является малозатратным, а значит более привлекательным как для сетевых компаний, так и для административных образований. Кроме того, уменьшение потерь в сетях дополнительно приведет и к другим положительным результатам, в частности, повышению надёжности и эффективности электроснабжения потребителей.

2. Постановка задачи исследования

Все существующие электрические сети в соответствии с существующей классификацией делятся на системообразующие, питающие и распределительные.

Системообразующие сети – линии электропередачи достаточно большой длины, осуществляющие связь между энергосистемами и мощными электростанциями. Они, как правило, выполняются на напряжении 330 – 1150 кВ, и осуществляют функции формирования объединенных энергосистем и обеспечивают их функционирование как единого объекта управления.

Питающие предназначены для передачи электрической энергии от подстанций системообразующих сетей и частично от шин напряжением 110 – 220 кВ электростанций до центров пи-

тания распределительных сетей. Питающие сети обычно замкнутые. По мере роста плотности нагрузок, мощности электростанций и протяженности распределительных сетей напряжение их может достигать 330 – 500 кВ.

Распределительные предназначены для передачи электрической энергии от центров питания непосредственно к потребителям электрической энергии и выполняются напряжением 6 – 10 – 35 кВ [5]. Распределительные сети, как правило, работают в разомкнутом режиме, являются наиболее протяжёнными транспортными системами [1, 2]. Поэтому очевидно, что решение проблемы по уменьшению потерь в данных сетях даст наибольший положительный эффект, по сравнению с сетями более высоких напряжений.

Территориальная сетевая организация (ТСО) самостоятельно определяет место размыкания распределительных сетей, которые имеют замкнутую конфигурацию. Разомкнутый режим работы распределительных сетей позволяет упростить настройку устройств релейной защиты и автоматики, уменьшаются токи короткого замыкания. Данный режим работы сети является нормальным, т.е. сеть в данном режиме работает постоянно кроме аварийных режимов. Следовательно, ошибки при выборе места размыкания сети будут влиять на величину потерь электрической энергии и надежность работы системы электроснабжения. Таким образом, задача выбора оптимального места размыкания распределительных сетей является основополагающей и многокритериальной (повышение надежности и эффективности при передаче электрической энергии) [7].

3. Выбор параметров для оптимизации места размыкания в электрической сети

Для решения задачи выбора оптимального места размыкания исследуемой сети требуется расчет следующих показателей: уровень потерь в сети, надежность электроснабжения потребителей сети (вероятность безотказной работы и наработка на отказ), показатели качества электрической энергии (уровень напряжения в узлах).

В работе рассматривалась значимость данных параметров для ТСО и потребителей. ТСО самостоятельно выбирает место размыкания, а, следовательно, она должна быть наиболее заинтересована в этом. Потребитель, же заинтересован в получении электрической энергии по выгодной цене, отвечающей требованиям по качеству и надежности [4].

Анализ критериев надежности и эффективности электроснабжения показал следующее:

- под эффективностью передачи ЭЭ будем понимать передачу ЭЭ с минимально возможными потерями в сети;
- под надежностью передачи ЭЭ будем понимать передачу ЭЭ с максимальной вероятностью безотказной работы и наработкой сети на отказ;
- под оптимальным местом размыкания сети будем понимать режим, при котором одновременно достигается максимальная эффективность и надежность передачи ЭЭ.

4. Результаты выбора оптимального места размыкания в распределительной сети Кстовского района Нижегородской области

По результатам анализа показателей надежности и эффективности электроснабжения, определяемых для выбора оптимального места размыкания сети, сделан вывод о необходимости проверки предлагаемого подхода на существующей распределительной сети и сравнить варианты мест размыкания, предложенных ТСО и по предлагаемой методике.

Параметры схемы замещения исследуемой сети определяются по [6]. На основании данных расчетов с использованием сертифицированной программы *Project 2.13* по средним нагрузкам за год, с заданными параметрами сети определяются показатели эффективности электроснабжения, а именно: величины потерь активной и реактивной мощности и уровень напряжения в узлах сети.

Надежность передачи ЭЭ определяется по значениям интенсивности отказов элементов сети электроснабжения. Производится расчет вероятности безотказной работы и наработки на отказ.

Сравниваются рассчитанные показатели надежности и эффективности электроснабжения для различных режимов работы сети. Оптимальным местом размыкания является место размыкания, при работе с которым, потери в сети минимальны, вероятность безотказной работы и наработка на отказ максимальны, уровень напряжения находится в пределах регулирования. Необходимо отметить, что не всегда максимальные значения показателей надежности и эффективности электроснабжения достигаются при размыкании сети в одной точке. Однако, при рассмотрении существующей распределительной сети Кстовского района, такая проблема не возникла. Приведем в таблице 1 сравнение двух режимов работы сети Кстовского района Нижегородской области, выбранных сетевой организацией и нами по предложенной методике.

Таблица 1. Сравнение мест размыкания сети Кстовского района, выбранного по предлагаемой методике и сетевой организацией

Показатель электроснабжения	Значение показателя электроснабжения	
	Место размыкания, выбранное по нашей методике	Место размыкания, выбранное сетевой организацией
Наименьшее напряжение на шинах ВН потребителя, кВ	33,958	33,735
Потери активной мощности, МВт	0,07	0,08
Потери реактивной мощности, Мвар	0,06	0,08
Вероятность безотказной работы сети, о.е	0,132	0,07
Наработка сети на отказ, ч	4326	3297

Анализируя результаты расчетов, можно сделать вывод о том, что выбранное место размыкания по предлагаемому подхо-

ду позволяет добиться наибольшей эффективности и надежности передачи ЭЭ.

Таким образом, данный подход успешно применен для определения оптимального места размыкания существующей сети.

5. Определение выражения для сравнения нескольких режимов работы сети

В ходе исследований были рассчитаны одиннадцать схем электроснабжения распределительных сетей. Для каждой схемы сети определялось место размыкания с максимальной надежностью и эффективностью электроснабжения. Однако, не всегда, как в примере со схемой электроснабжения Кстовского района, места размыкания с максимальной надежностью и эффективностью совпадают.

В связи с этим, задача сравнения нескольких режимов и выбора среди них лучшего, как для потребителя, так и для ТСО является одной из определяющих.

Неверно сравнивать изменение показателей надежности и эффективности электроснабжения в процентах при переходе от одного места размыкания к другому. Поскольку, например, уменьшение вероятности безотказной работы или потерь реактивной мощности в сети на 10 % различным образом повлияет на экономический ущерб от перерыва электроснабжения для крупного и мелкого предприятия. Таким образом, сравнение ущерба, который понесут потребители и ТСО, от выбора места размыкания сети было решено определять в виде экономического ущерба в рублях. Выражение для сравнения экономического ущерба в течение года при выборе места размыкания сети определяется, как:

$$(1) \quad Y = \left[(\Delta P_{nep} + \Delta P_{xx}) \cdot T_z + \Delta W_{my_{yo}} \cdot l_{\Sigma} \right] \cdot C_{\Sigma} + \\ + \sum_{j=1}^m \left(\frac{(1 - p_j) \cdot \sum_{i=1}^n T_{\theta i}}{T'_{zj} \cdot n} \left[\sum_{i=1}^n [(C_i - C_i) B_i] + I_j \right] \right),$$

где Y - экономический ущерб, определяемый для сравнения нескольких режимов работы сети, тыс. руб;

ΔP_{nep} - потери в продольных элементах сети, МВт;

- ΔP_{xx} - потери холостого хода в трансформаторах сети, МВт;
 T_c - количество часов в году, ч;
 $\Delta W_{my, y_0}$ - удельные потери ЭЭ от токов утечки по изоляторам, МВт·ч/(год·км);
 l_{Σ} - суммарная длина ВЛ сети, км;
 C_{Σ} - стоимость потерь ЭЭ, тыс. руб/МВт·ч;
 p_j - вероятность безотказной работы j - ой ПС в течение года, о.е.;
 T_{Bi} - время обнаружения и устранения отказа оборудования i - ого цеха (производства), ч;
 T'_{ej} - годовой фонд рабочего времени j - ой ПС в течение года, ч;
 Π_i - цена продукции, выпускаемой в i - ом цеху (производстве), тыс. руб;
 C_i - себестоимость продукции, выпускаемой в i - ом цеху (производстве), тыс. руб;
 V_i - выпуск продукции в i - ом цеху (производстве), т;
 I_j - постоянные издержки предприятия j - ой ПС, тыс. руб.

В (1) входят рассчитанные показатели электроснабжения и некоторые экономические показатели предприятий сети. Первое слагаемое в (1), оценивает экономический ущерб от различного вида потерь при передаче ЭЭ [3], второе – экономический ущерб от недовыпуска продукции и увеличения себестоимости вследствие этого всех предприятий, получающих питание от подстанций рассматриваемой сети.

6. Выводы

Расчеты, проведенные для одиннадцати схем электроснабжения распределительных сетей различной конфигурации показали, что:

- эффективность, питающей потребителя распределительной сети зависит от мощности передаваемой потребителю длины и типа ЛЭП;
- задача выбора оптимального места размыкания в нормальном режиме работы распределительных сетей является

многокритериальной, поскольку включает в себя объединение показателей надежности и эффективности электропередачи, каждый из которых, в свою очередь является также многокритериальным;

- оптимальным местом размыкания распределительной сети будет являться некоторый элемент сети, если при расчетах показателей надежности и эффективности электроснабжения в данном режиме работы сети, будут получены максимальные значения определяемых параметров по сравнению с другими местами размыкания;

- оптимальное место размыкания сети необходимо определять по минимальному экономическому ущербу потребителям сети (выражение 1) в случаях, если максимальные значения рассчитанных показателей надежности и эффективности электроснабжения соответствуют различным местам размыкания сети;

- оптимальным местом размыкания сети будет являться равноудаленный от центров питания элемент сети при близких значениях длин ЛЭП и мощностях подстанций, также при различных значениях мощностей подстанций и длинах ЛЭП, находящихся в равных или близких соотношениях, и при расположении наибольших длин ЛЭП и мощностей подстанций симметрично относительно центров питания сети;

- при близких значениях длин ЛЭП и различных мощностях подстанций, оптимальное место размыкания смещается в сторону подстанции большей мощности;

- при близких значениях мощностей подстанций и различных длинах ЛЭП, оптимальное место размыкания сети смещается в сторону ЛЭП большей длины;

- при различных значениях мощностей подстанций и длин ЛЭП, находящихся в равных или близких соотношениях, оптимальным местом размыкания сети будет являться элемент сети, равноудаленный от ЛЭП наибольшей длины и подстанции наибольшей мощности.

Литература

1. ВУКОЛОВ В. Ю. *Повышение эффективности передачи электроэнергии в распределительных сетях. Часть 1.* / В.Ю. Вуколов, А.Л. Куликов, Б.В. Папков // Москва. НТФ «Энергопрогресс», Библиотечка электротехника, 2013, №11.- 72 с.
2. ВУКОЛОВ В. Ю. *Повышение эффективности передачи электроэнергии в распределительных сетях. Часть 2.* / В.Ю. Вуколов, А.Л. Куликов, Б.В. Папков // Москва. НТФ «Энергопрогресс», Библиотечка электротехника, 2013, №12.- 64 с.
3. *Инструкция по организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по расчету и обоснованию нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям.*- Приказ Министерства энергетики Российской Федерации от 30 декабря 2008 г. № 326
4. *Об утверждении правил недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии и оказания этих услуг, правил недискриминационного доступа к услугам по оперативно- диспетчерскому управлению в электроэнергетике и оказания этих услуг, правил недискриминационного доступа к услугам администратора торговой системы оптового рынка и оказания этих услуг и правил технологического присоединения энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии, объектов по производству электрической энергии, а также объектов электросетевого хозяйства, принадлежащих сетевым организациям и иным лицам, к электрическим сетям.*- Постановление Правительства РФ от 07.03.2014 г №179.
5. ПРУСС В.Л., ТИСЛЕНКО В.В. *Повышение надёжности сельских электрических сетей.* – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989.- 208 с.
6. *Справочник по проектированию электрических сетей* / под ред. Д.Л. Файбисовича.- 4-е изд., перераб. и доп.- М.: ЭНАС, 2012.- 376с.: ил.

7. УШАКОВ И.А. *Вероятностные модели надежности информационно- вычислительных систем.*- М.: Энергоатомиздат, 1991.- 93 с.

OPTIMIZATION AT THE CHOICE OF A PLACE OF DIS- CONNECTION OF DISTRIBUTIVE ELECTRIC NETWORKS

Alexander Maloshenko, Dzerzhinsk polytechnical institute (branch) of Nizhny Novgorod state technical university of R. E. Alekseev, Dzerzhinsk, student (Nizhny Novgorod region, Dzerzhinsk, Mira boulevard, 30, vzlom@mail.ru).

Vladimir Vucolov, Nizhny Novgorod state technical university of R. E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Candidate of Science, assistant professor (vvucolov@mail.ru).

Boris Papkov, Nizhny Novgorod state technical university of R. E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Doctor of Science, professor (papkov@nntu.nnov.ru).

The problem of a choice of an optimum place of disconnection in a distributive electric network is multicriteria, demanding special approach to its decision. Correctly chosen place of disconnection allows to reduce significantly losses of electric energy and at the same time to increase reliability of transfer of electric energy to the consumer. The technique of the solution of this task is tested on an existing distributive network, and the received results testify to increase of efficiency of power supply of consumers.

Keywords: power industry, distributive electric networks, choice of a place of disconnection, efficiency of transfer of electric energy, reliability of transfer of electric energy.