

на соискание ученой степени доктора технических наук : спец. 05.14.02 / С. Г. Обухов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Энергетический институт (ЭНИН), Кафедра электроснабжения промышленных предприятий (ЭПП) ; науч. конс. Б. В. Лукутин. — Электронные текстовые данные (1 файл : 10.7 Mb). — Томск: 2013. — Заглавие с титульного экрана. — Электронная версия печатной публикации. — Свободный доступ из сети Интернет. — Системные требования: Adobe Reader.

Режим доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/a/2013/78.pdf>

2. Обухов, Сергей Геннадьевич. Моделирование и исследование режимов работы солнечной фотоэлектрической станции с контроллером максимальной мощности [Электронный ресурс] = Modeling and study of modes of solar photovoltaic power plant with a maximum power point tracing / С. Г. Обухов, И. А. Плотников // Альтернативная энергетика и экология: международный научный журнал. — 2015. — № 13-14. — [С. 38-50]. — Заглавие с экрана. — Доступ по договору с организацией-держателем ресурса.

Режим доступа: <http://elibrary.ru/item.asp?id=24040727>

3. Обухов, Сергей Геннадьевич. Буферная система накопления электроэнергии для возобновляемой энергетики [Электронный ресурс] = The buffer system of electric energy storage for renewable energy / С. Г. Обухов, И. А. Плотников, Е. Ж. Сарсикеев // Альтернативная энергетика и экология : международный научный журнал. — 2012. — № 9. — [С. 137-141]. — Заглавие с экрана. — Доступ по договору с организацией-держателем ресурса.

Режим доступа: <http://elibrary.ru/item.asp?id=17962210>

Научный руководитель: С.Г. Обухов, д.т.н., доцент каф. ЭПП ЭНИН ТПУ.

## **АЛГОРИТМ ВЫБОРА ТОЧКИ ИНТЕРКОННЕКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ И ЕЕ ИНТЕГРАЦИЯ В РАБОТУ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ**

Р.А. Нунумете  
Томский политехнический университет  
ЭНИН, ЭПП

### Аннотация

*В статье представлен алгоритм выбора точки интерконнекции распределенной генерации с учетом поставленных критериев. Рассмотрены основные факторы, влияющие на режимы работы энергосистемы в зависимости от точки интерконнекции источников распределенной генерации.*

## ВВЕДЕНИЕ

Одной из актуальных проблем мировой энергетики, особенно в развивающихся странах, является рост потребления электроэнергии, вызывающий необходимость повышения выработки. Однако, путь повышения мощности электростанций центральной энергосистемы в большинстве случаев всегда сталкивается с проблемой больших капиталовложений на расширение/создание новых станции и доступности свободных территорий, необходимых для их расширения/строительства. Для территорий, обладающих потенциалом возобновляемых источников энергии, можно решать эту проблему путем ввода в эксплуатацию новых мощностей распределенной генерации (РГ). С одной стороны, размеры необходимых территорий для внедрения мощностей распределенной генерации зависят от типа генерирующих источников и их мощности (например, фотоэлектрическая станция (ФЭС) или ветроэлектрическая установка (ВЭУ)), но, как правило, их доступность гораздо выше в сравнении с традиционными энергоустановками [1]. С другой стороны, удельная стоимость присоединенной мощности РГ с возобновляемыми источниками энергии снижется с возрастанием ее мощности [2].

Установленная мощность источников РГ, подключенных к распределенной сети, может варьироваться от нескольких киловатт до десятков мегаватт. С точки зрения масштаба использования РГ ее можно классифицировать по следующим признакам [3]. Микро-распределенная генерация –  $\pm 1$  Вт до 5 кВт; малая распределенная генерация – 5 кВт до 5 МВт; средняя распределенная генерация – 5 МВт до 50 МВт; большая распределенная генерация – 50 МВт до 300 МВт.

РГ дает дополнительные возможности повышения надежности энергосистемы путем снижения потерь активной мощности, потерь напряжения и т.п., как на шинах локальных потребителей, так и в энергосистеме в целом. Данные преимущества можно получить путем правильного выбора точки интерконнекции РГ к энергосистеме. Поэтому задачей данной работы является алгоритмом выбора рациональной точки интерконнекции РГ к распределенной сети.

## СХЕМЫ ПОДКЛЮЧЕНИЯ

Возможны два основных варианта подключения источников в сеть с РГ, в соответствии с которыми различают типы точек интерконнекции: на среднем (ТИ СН) и низком (ТИ НН) напряжении сети. Примеры типов местоположения точек интерконнекции (ТИ) показаны на рисунке 1, где ТИ может быть расположена на линии или шинах подстанций в секции СН или НН.

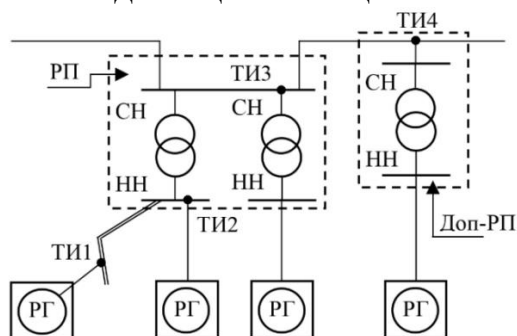


Рис. 1. Возможные точки интерконнекции в сети с распределенной генерацией

## ВЛИЯНИЯ РГ НА РАБОТУ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Подключение источников РГ к электрической сети изменяет баланс мощностей в энергосистеме: уже не вся потребленная энергия покрывается за счет энергии электростанций, некоторая ее часть замещается источниками РГ. При грамотном выборе величины установленной мощности и точек подключения источников РГ можно оптимизировать баланс мощностей в энергосистеме, тем самым значительно повысить ее надежность и экономичность. РГ оказывает непосредственное влияние на уровень напряжения в электрической сети, особенно в точке интерконнекции. Следует отметить, что для источников РГ, использующих возобновляемую энергию Солнца, выработка электрической энергии будет варьироваться в широких пределах – от максимальной величины в дневное время суток до нулевых значений ночью. Соответственно, уровень напряжения в сети также будет изменяться, и его необходимо поддерживать в требуемом диапазоне. Кроме того необходимо обеспечить токовую нагрузку линий ниже максимально допустимой во всех рабочих режимах энергосистемы.

### АЛГОРИТМ ВЫБОРА ТОЧКИ ИНТЕРКОННЕКЦИИ

1. Алгоритм выбора точки интерконнекции начинается с анализа текущих режимов работы энергосистемы.
2. Приведенный выше анализ энергетических систем с РГ показал, что эффективность и целесообразность применения источников РГ зависит от множества факторов. В настоящей работе для анализа систем с РГ предлагается использовать три основных критерия:

$$U_{\min} \leq \delta U_y \leq U_{\max} \quad (1)$$

$$\Delta P_i = \Delta P_{Лi} + \Delta P_{Ti} < \Delta P_0 = \Delta P_{Л0} + \Delta P_{T0} \quad (2)$$

$$I_i < I_{\max} \quad (3)$$

где  $\delta U_y$  – отклонение установленного напряжения, кВ;

$\Delta P_0$ ,  $\Delta P_i$  – сумма потерь активной мощности при отсутствии РГ и после добавления РГ в энергосистему, кВт;

$\Delta P_{Л0}$ ,  $\Delta P_{Лi}$  – потери ЛЭП при отсутствии РГ и после добавления РГ, кВт;

$\Delta P_{T0}$ ,  $\Delta P_{Ti}$  – потери в трансформаторах при отсутствии РГ и после добавления РГ, кВт;

$I_i$  – протекающий ток вдоль линии фидера, А;

$I_{\max}$  – максимальный допустимый ток проводника, А.

3. Для определения поставленных критериев необходимо выполнить расчет потоков мощности в электрической сети. С учетом установленных критериев, выполним анализ потоков мощности для ТИ на среднем и низком напряжении сети. Индивидуальный фидер интегрирован с одним источником РГ с разными мощностями в разных точках по трассе фидера для того, чтобы проанализировать, какое влияние ТИ и величина мощности РГ оказывают на параметры электрической сети.
4. Удовлетворение поставленным критериям.

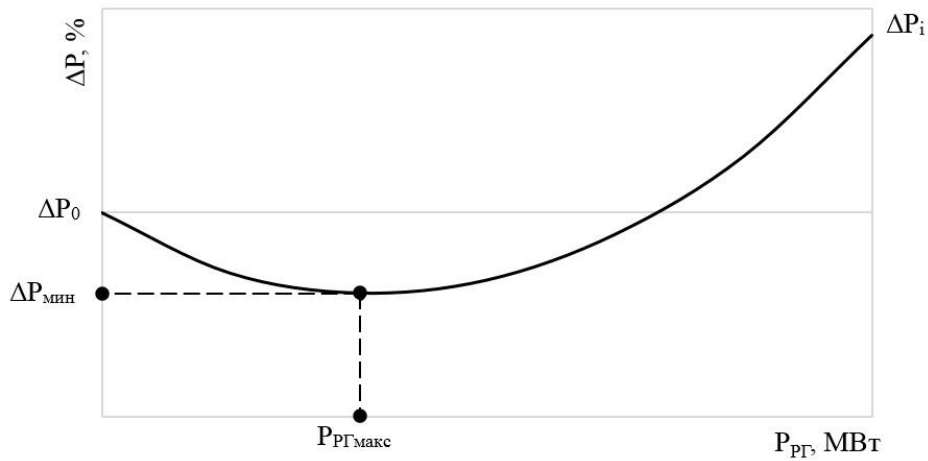


Рис. 2. Максимальный результат первого критерия

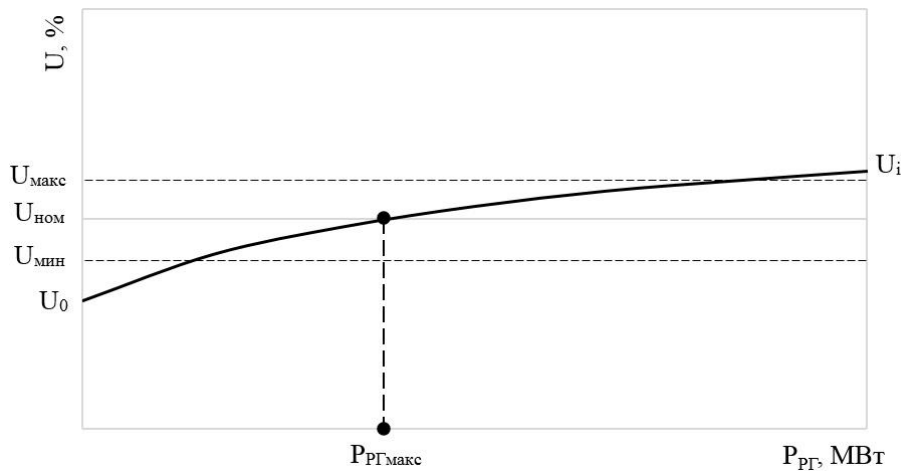


Рис. 3. Максимальный результат второго критерия

Для удовлетворения первого критерия необходимо увеличить мощность РГ до того момента когда  $\Delta P_i$  достигает минимального значения  $\Delta P_{\text{мин}}$  (рис. 2). Для удовлетворения второго критерия необходимо увеличить мощность РГ до того момента, когда  $U_i$  достигает номинального значения  $U_{\text{ном}}$  (рис. 3). Для удовлетворения третьего критерия необходимо поддерживать значения протекающего тока  $I_i$  ниже максимального допустимого значения  $I_{\text{макс}}$  (рис. 4).

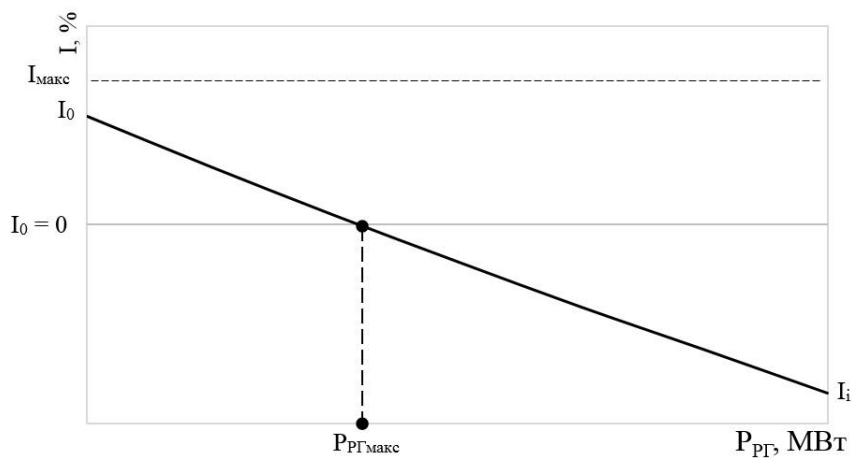


Рис. 4. Максимальный результат третьего критерия

5. Выбор наилучшей точки интерконнекции мощности РГ. На основе полученных результатов, выбор точки интерконнекции РГ обуславлива-

ется удовлетворением всех вышеперечисленных выше критериев. Однако, на практике идеальные результаты, как показано на рисунках 2-4, одновременно получаются крайне редко при одной мощности. Поэтому нужно выбирать такую ТИ, где результаты всех критериев будут ближе к желательным значениям.

## ВЫВОД

Применение предлагаемого алгоритма выбора точки интерконнекции максимизирует эффективность внедрение мощностей РГ в распределенной сети для оптимизации работы системы электроснабжения. Более того, данный алгоритм можно использовать при проектировании источников генерации с распределительной системой.

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Nuclear Energy Institute. Land requirement for Carbon-Free Technologies, June 2015 – С. 1.
2. National Renewable Energy Laboratory (NREL). Cost and performance data for power generation technologies. February 2012 – С. 38.
3. G.N. Koutroumpetis, A.S. Safigianni, G. S. Demetzos and J. G. Kendristakis. Investigation of the distributed generation penetration in a medium voltage power distribution network // International Journal of Energy Research. – 2009.- N 34.-С. 585-593.

Научный руководитель: С.Г. Обухов, д.т.н., доцент каф. ЭПП ЭНИН ТПУ.

## **ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ИЗОЛИРОВАННЫХ РАЙОНОВ НА ОСНОВЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

А.С. Петрусёв

Томский политехнический университет  
ЭНИН, ЭЭС, группа 5А3А

Тема работы актуальна в рамках реализации программ по Критическим технологиям федерального уровня приоритетных направлений России. Солнечные станции имеют невысокую эффективность преобразования солнечной энергии в электрическую в течение дня, которая зависит не только от собственного КПД солнечных элементов (который для стандартных панелей лежит в пределах 14-18%), но и от положения солнца относительно солнечных панелей. Наиболее же важным фактором, ограничивающим распространение солнечных станций, является их высокая стоимость – порядка 1-1,5\$ за удельный Ватт мощности.

Мы предлагаем оснащать фотоэлектрические установки солнечными трекерами и акриловыми концентраторами, которые имеют ряд преимуществ перед своими аналогами.