

этому для определения оперативного резерва активной мощности целесообразно использовать методы теории вероятностей и математической статистики (универсальные производящие функции вероятностей). Анализ универсальных производящих функции вероятностей для небалансов мощности системы позволяет оценить надежность электроснабжения потребителей. Если надежность окажется недостаточной, то тогда в ЭЭС до-

полнительно размещается генерирующее оборудование. По завершению расчетов определяется требуемая величина оперативного резерва генерирующей мощности как превышение располагаемой мощности ЭЭС над нагрузкой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дубицкий М.А. [и др.]. Выбор и использование резервов генерирующей мощности в электроэнергетических сис-

темах / М.А. Дубицкий, Ю.Н. Руденко, М.Б. Чельцов. – 2 – е изд. перераб. и доп. – Изд. АГТА. – 365 с.

УДК 621.311.1

Дубицкий Михаил Александрович,
к.т.н., доцент, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: dubitskii_ma@mail.ru
Моисеева Екатерина Андреевна,
инженер ОАО «ИЭСК»

РАСЧЁТ РЕЗЕРВОВ ГЕНЕРИРУЮЩЕЙ МОЩНОСТИ С УЧЕТОМ ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Dubitskii M.A., Moiseeva E.A.

CALCULATION OF RESERVES OF THE GENERATING POWER TAKING INTO ACCOUNT WIND ENERGY

Анотация. В статье рассмотрена задача выбора резерва генерирующей мощности с учетом ветровой энергетики.

Ключевые слова. Резерв, планирование, ветровые станции, надёжность.

Abstract. The article considers the task of electing a reserve of generating capacity, taking into account wind energy.

Keywords: Reserve, planning, wind stations, reliability.

Ухудшение климата, уменьшение запасов традиционного топлива – все это привело к внедрению альтернативных источников энергии в энергосистему разных стран. Возобновляемые источники энергии обсуждались на Всемирном саммите по вопросам климата, который состоялся в Париже в декабре 2015 года [1], где почти 200 стран согласились до 2020 г сократить выбросы вредных веществ. Это послужило стимулом для развития альтернативной энергетики, т.к. при ее использовании не выделяются вредные вещества.

Кроме улучшения экологической обстановки, у возобновляемых источников энергии также есть ряд преимуществ:

— Эти источники энергии неисчерпаемы (если сравнить обычные источники энергии, такие как уголь, газ, нефть и ядерные запасы, которые со временем могут исчезнуть, альтернативная энергия считается неисчерпаемой, что поможет странам успешно развивать энергетику).

— Энергетическая независимость стран (не во всех странах имеются свои энергоресурсы).

— Все большая конкурентоспособность (основные затраты на возобновляемые технологии сокращаются, этому способствовали новые технологии).

Один из видов возобновляемой энергетики – это ветроэнергетика. Ветроэнергетика

– один из развивающихся способов получения электрической энергии. Энергия ветра является одной из самых дешевых для технологий возобновляемых источников энергии. Ветроэнергетика конкурирует с новыми угольными электростанциями и дешевле новой ядерной энергетики. Запасы энергии ветра более чем в сто раз превышают запасы гидроэнергии всех рек планеты. Ветер считается экологически чистым (ветровые генераторы в процессе эксплуатации не используют ископаемого топлива) и возобновляемым источником электрической энергии. Работа ветрогенератора мощностью 1 МВт за 20 лет позволяет сэкономить примерно 29 тыс. тонн угля или 92 тыс. баррелей нефти. Основные затраты на получение энергии от ветра, в основном, обусловлены затратами на установку ветряных электрических станций (ВЭС), в состав которых входит несколько ветроэнергетических установок (ВЭУ). Большие и малые ВЭС могли бы работать на огромных пространствах России высокоэффективно, т.к. страна обладает мощным ветроэнергетическим потенциалом. Такие районы, как Обская губа, Кольский полуостров, большая часть прибрежной полосы Дальнего Востока, по мировой классификации, относятся к самым ветровым зонам. Среднегодовая скорость ветра на высоте 50-80 м, где располагаются ВЭУ современных ВЭС, составляет 11-12 м/с. Если посмотреть на эти данные, то можно предположить, что все электроснабжение в мире могло бы обеспечиваться за счет энергии ветра. Однако этот источник энергии имеет свои недостатки.

К недостаткам ветровой генерации следует отнести:

1) Изменчивость скорости ветра. Электрическая мощность, производимая ветровыми установками, уменьшаться при малых скоростях ветра. В таких случаях необходим резервный источник питания.

2) Угроза животным. Края ветряных турбин могут быть небезопасными для птиц и других летающих существ, которые могут находиться в этом районе.

3) Шум. Ветровые турбины создают звук, который может составлять от 50 до 60 децибел, поэтому их не ставят рядом с жилыми районами [2].

4) Устанавливается в определенных районах. Ветровые установки могут использоваться только в определенных местах, где скорость ветра высока.

5) Влияние на окружающую среду. Ветровой станции нужны большие площадки, для этого необходима вырубка деревьев.

Для обеспечения качества электрической энергии и надежности электроснабжения должно выполняться равенство между генерацией и потреблением. На ветровых станциях производство энергии зависит от скорости ветра, которая является переменным параметром. Физическое прогнозирование скорости ветра являлось основным методом до конца 1950-х годов [3]. Синоптики искали более точные методы прогнозирования погоды, по сравнению с традиционным методом. Численный метод включают в себя математическое моделирование. Метод основан на том, что данные атмосферы следуют ряду физических принципов. Когда есть данные о текущих условия атмосферы, то физические законы могут применяться для прогнозирования будущей погоды. Ряд математических уравнений используется для разработки теоретических моделей общей циркуляции атмосферы [4].

Для улучшения экологической атмосферы многие страны начали внедрение возобновляемой энергии в свою экономику. Например, Соединенные Штаты. Самая мощная ветряная электростанция (781,5 МВт) «Roscoe Wind Farm» расположена в США, занимает площадь примерно в 400 км² и состоит из 627 ветроустановок. На протяжении изменения энергетической отрасли в сторону возобновляемых источников поддерживалась качество и надежность и также создавались рабочие места для данной энергетики. В 2017 году в США было произведено около 4,015 миллиарда киловатт-часов (кВт•ч) электроэнергии [5]. Примерно 63% этой выработки электроэнергии приходится на ископаемое топливо (уголь, природный газ и нефть). Около 20% обеспечивалось ядерной энергетикой, а около 17% приходится на возобновляемые источники энергии

В Европе также большинство стран поддержали меры, которые существенно повысят долю возобновляемой энергии. В некоторых странах союза возобновляемая энергия уже становится приоритетной. Швеция планирует производить более 50% своей энергии из возобновляемых источников энергии, а Финляндия - около 40% [6]. Дания планирует к 2020 г. 50 % нагрузки обеспечить с помощью ветроэнергетики. Франция планирует к 2020 году построить ветряных

электростанций на 25 000 МВт. Германия планирует к 2025 году производить 40-45 % электроэнергии из возобновляемых источников энергии.

На ветровых станциях производство энергии зависит от скорости ветра, которая является переменным параметром. Применяют несколько способов повышения эффективности работы ВЭС:

1. Увеличение ветровых установок по количеству и расположение их в шахматном порядке, чтобы увеличить возможности эффективного использования ветряного потока.
2. Объединение ветряных станций, установленных в разных местах в единый энергокомплекс.
3. Повышение точности прогнозирования располагаемой мощности ВЭС для краткосрочных и больших временных периодов.
4. Аккумуляция ветровой генерации.
5. Применение современных типов ветряных генераторов.
6. Резервирование генерирующей мощности.

Далее рассматривается единственный, но существенный способ повышения надежности – резервирование генерирующей мощности.

Под резервированием понимают повышение надежности введением избыточных – дополнительных средств и возможностей сверх минимально необходимых для выполнения объектом заданных функций [7]. Резерв мощности в ЭЭС можно создать изменением величины мощности генерации и регулированием режима потребления, при этом сохранение баланса мощности за счет изменения нагрузки является временной мерой, которую применяют в аварийных ситуациях, когда исчерпан весь резерв генерирующей мощности.

Для определения оперативного резерва активной мощности целесообразно использовать методы теории вероятностей и математической статистики [8]. Универсальная производящая функция вероятностей для небалансов мощности системы примет следующий вид.

$$\varphi_{\Delta N_{\text{нб}}} = \varphi_{\Delta N_{(a)}} \cdot \varphi_{\Delta N_{(н)}} \cdot \varphi_{\Delta N_{(в)}}$$

где $\varphi_{\Delta N_{(a)}}$, $\varphi_{\Delta N_{(н)}}$, $\varphi_{\Delta N_{(в)}}$ – универсальные производящие функции вероятностей для аварийного снижения располагаемой мощности системы, ошибки прогноза нагрузки,

ошибки прогноза располагаемой мощности ветровых электростанций.

Универсальная производящая функция для рабочей мощности системы с учетом аварийности генерирующего оборудования примет следующий вид:

$$\varphi_{\Delta N_{\text{раб}}} = \prod_{i=1}^I (P_i \cdot z^{N_{pi}} + q_i \cdot z^0) = \sum_{k=1}^K P_k \cdot z^{N_{\text{раб}k}},$$

где z – произвольный параметр; N_{pi} – мощность i – го агрегата; k – номер состояния рассматриваемой системы, состоящей из I агрегатов; $N_{\text{раб}k}$ – рабочая мощность системы для ее k – го состояния; P_k – вероятность появления k – го состояния системы.

Тогда

$$\varphi_{\Delta N_{(a)}} = \sum_{k=1}^K P_k \cdot z^{N_{\text{расп}} - N_{\text{раб}k}},$$

где $N_{\text{расп}}$ – располагаемая мощность системы (ее прогнозируемая величина).

Для случайных изменений нагрузки универсальная производящая функция примет следующий вид:

$$\varphi_{\Delta N_{(н)}} = \sum_{s=1}^S P_s \cdot z^{\delta N_s},$$

где s – номер состояния рассматриваемой системы (S – количество состояний); P_s – вероятность появления s -го состояния системы, обусловленного появлением ошибки прогноза нагрузки величиной $N_s \delta$.

Ошибка прогноза нагрузки принимается положительной, если нагрузка превышает прогнозируемую величину.

$$\varphi_{\Delta N_{(в)}} = \sum_{\mu=1}^M P_{\mu} \cdot z^{\delta N_{в\mu}},$$

где μ – номер состояния рассматриваемой системы (M – количество состояний); P_{μ} – вероятность появления μ – го состояния системы, обусловленного появлением ошибки прогноза располагаемой мощности ветровых электростанций величиной $\delta N_{в\mu}$ (ошибка прогноза считается положительной, если располагаемая мощность ветровых станций меньше прогнозируемой величины.)

Над показателями степени при z выполняется операция сложения:

$$\varphi_{\Delta N_{\text{нб}}} = \sum_j P_j \cdot z^{\Delta N_{\text{нб}j}},$$

где j – состояние системы, характеризующееся небалансом

Полученная в результате эквивалентирования универсальная производящая функция может быть использована для определения показателей надежности. Вероятность безотказной работы системы определяется следующим образом:

$$\rho = \sum_{i=1}^I P_i \gamma_i$$

где

$$\gamma_i = \begin{cases} 1, & \Delta N_{нбi} \geq 0 \\ 0, & \Delta N_{нбi} \leq 0 \end{cases}$$

Если не выполняется условие:

$\rho \geq \bar{\rho}$, тогда в ЭЭС дополнительно размещается наиболее эффективно работающее гене-

рирующее оборудование (что позволяет обеспечить минимум затрат). По завершению расчетов определяется требуемая величина оперативного резерва генерирующей мощности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рамочная конвенция ООН об изменении климата. Двадцать первая сессия Париж, 30 ноября – 11 декабря 2015 года / [Текст]. [Электронный ресурс]
2. „Netztransparenz.de,“ Informationsplattform der deutschen Übertragungsnetsbetreiber, 2016. [Online]. Available: <https://www.netztransparenz.de/de/index.htm>. [Zugriff am 02 Februar 2016]
3. Прогноз погоды здесь и сейчас. Ваттс А. Издательство: ИД "Моя планета" 2013 г. 64 с.
4. Белов П.Н., Борисенков Е.П., Панин Б.Д. Численные методы прогноза погоды / [Текст]. Учебник, 1989 г., 376 с.
5. Эллиотт, Д.Л., Венделл Л.Л., Г.Л. Гауэр. Энергетический потенциал ветра в Соединенных Штатах с учетом исключений в области окружающей среды и землепользования Оксфорд, Великобритания: Пергамон, 1992.
6. Евростат. Доля возобновляемых источников энергии в общем конечном потреблении энергии / (<http://ec.europa.eu/eurostat>). [Электронный ресурс]
7. Дубицкий М.А., Рыкова А.А. Классификация резервов генерирующей мощности. Вестник ИргТУ. – 2014. – № 8(91). – С. 141–147.
8. Дубицкий М.А., Руденко Ю.Н., Чельцов М.Б. «Выбор и использование резервов генерирующей мощности в электро – энергетических системах» 2015 г. 346 с.