УДК 621.3.03

ЭТАПЫ ИНТЕГРАЦИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ЭНЕРГОСИСТЕМУ

Н.Е. Ртищева, К.П. Ртищев, В.И. Загинайлов, С.И. Белов

РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

Аннотация. *На протяжении нескольких лет многие зарубежные страны внедряли в систему электроснабжения возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Опыт внедрения может быть в нашей стране, находящейся на первоначальном этапе использования ВИЭ. Обсуждение внедрения ВИЭ всё еще часто страдает от заблуждений, что может способствовать медленному развитию ВИЭ. Целью работы является рассмотрение этапов интеграции возобновляемых источников энергии в общую энергосистему страны. Для достижения цели использованы методы графического представления информации, методы статистического анализа, сопоставления и систематизации данных, анализа нормативно-технической документации. В статье описаны 4 этапа внедрения ВИЭ, исходя из выбранных критериев уровня интеграции. Россия только начинает свой путь внедрения ВИЭ с энергосистему страны. Но уже на этом этапе стоит предусмотреть меры для дальнейшего развития этой отрасли, чтобы снизить влияние проблем, возникающих при переходе на следующий этап.*

Ключевые слова: *Возобновляемые источники энергии, фотоэлектрическая установка, ветряная электростанция, внедрение ВИЭ, энергосистема, стабильность, гибкость.*

Введение. Мощность ветряных и солнечных фотоэлектрических установок во многих странах растет очень быстрыми темпами, благодаря государственной поддержке и резкому снижению стоимости технологий. К концу 2022 года эти технологии, которые в совокупности называются Возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ), достигли двузначной доли годовой выработки электроэнергии в десяти странах. В Дании их доля в производстве электроэнергии возросла примерно до 50% [1], а в Ирландии, Испании и Германии составила около 40% [2], во всех случаях без ущерба для надежности электроснабжения.

ВИЭ подсоединяются к централизованной системе электроснабжения, в непосредственной близости от места ее потребления. Считается, что основной эффект по энергосбережению и повышению энергетической эффективности работы централизованной системы электроснабжения с распределенной генерацией, достигается за счет снижения потерь электроэнергии при ее преобразованиях в трансформаторных подстанциях и передачи по воздушным и кабельным линиям электропередачи [3]

ВИЭ все еще часто страдает от заблуждений, мифов, а в некоторых случаях даже дезинформации. Часто слышимые претензии включают в себя то, что накопление электроэнергии является необходимым условием для интеграции ВИЭ, и что обычные генераторы подвергаются очень высоким дополнительным затратам по мере роста доли ВИЭ. [4] Такие заявления могут отвлечь лиц, принимающих решения, от реальных, хотя в конечном счете регулируемых, проблем.

Целью работы является рассмотрение этапов интеграции возобновляемых источников энергии в централизованную энергосистему страны. Для достижения цели, необходимо решение следующих задач: определить основные структурные и технические факторы, определяющие масштабы проблем интеграции, предложить этапы внедрения ВИЭ (интеграции), определить уровень интеграции ВИЭ в России

Материалы и методы.

Настоящее исследование проведено методами статистического анализа, сопоставления и систематизации данных, анализа нормативно-технической документации.

Обсуждение и результаты исследований.

Примем, что существует несколько этапов развития ВИЭ в стране, они характеризуются количеством электростанций, работающих на ВИЭ, и степенью их влияния на централизованную электросеть. Эти этапы отличаются увеличением воздействия вырабатываемой мощности ВИЭ на энергосистему.

На протяжении нескольких лет многие зарубежные страны внедряли в систему электроснабжения ВИЭ. Их опыт может быть полезен тем, кто только встал на путь возобновляемых источников энергии в системе электроснабжения. В статье [4] указано о существовании 6 этапов внедрения ВИЭ с систему электроснабжения. В зависимости от этапа внедрения меняется влияние ВИЭ на гибкость всей системы. Гибкость в этом контексте связана со способностью энергосистемы справляться с высокой степенью неопределенности и изменчивости баланса спроса и предложения.

Самое главное свойство, отличающее ветровые и солнечные фотоэлектрические системы от других источников выработки электроэнергии, заключается в том, что выработка возобновляемой энергии колеблется с течением времени. Это обусловлено различной доступностью ветра и солнечного света. Неопределенность результатов и другие факторы могут привести к ряду проблем, особенно на ранних этапах размещения, когда на самом деле проблем меньше всего.

Мы определим четыре этапа интеграции ВИЭ. Они различаются по воздействию на работу энергосистемы в результате увеличения доли мощности ВИЭ. Невозможно вывести простые правила, связывающие, например, определенную годовую долю энергии ветра и солнца с определенным уровнем усилий по интеграции или затрат. Обобщение неизбежно упускает из виду важные тонкости, но обеспечивает полезную основу для определения приоритетных задач сетевой интеграции, которые в противном случае могут быть представлены рядом проблем в начале интеграции. Доля генерации ВИЭ, при которой можно сказать, что система переходит в следующую фазу, зависит от ряда обстоятельств.

Основные структурные и технические факторы, определяющие проблемы интеграции:

• Географическое и техническое распространение ВИЭ: больший «разброс» влечет меньшие проблемы.

• Мощность энергосистемы: более крупные системы сталкиваются с меньшими проблемами.

• Соответствие между спросом и производством ВИЭ (сезонным и ежедневным): оптимальный баланс влечет меньше проблем.

• Гибкость электростанций (будь то тепловые, гидроэлектростанции или другие управляемые возобновляемые источники энергии): более короткое время запуска, способность снижать производительность до минимальных значений и более быстрое нарастание (изменение производительности) означают меньшее количество проблем.

• Взаимосвязь, хранение данных, прогнозирование и реагирование на спрос: чем больше присутствие каждого фактора, тем более управляемой является интеграция.

• Функционирование системы, проектирование рынка и регулирование
• Эксплуатация системы: оперативные решения для электростанций и подключений новых источников и потребителей должны быть близки к работе в режиме реального времени.
• Технические стандарты (сетевые коды): если для электростанций ВИЭ будет требоваться системное обслуживание, проблемы интеграции будут меньше. (Такие требования должны быть сбалансированы с дополнительными затратами на электростанции ВИЭ.)
• Эволюция спроса на электроэнергию: растущий спрос создает возможности для инвестиций в ВИЭ без вытеснения действующей генерации; будущий спрос может быть сформирован (в некоторой степени) в соответствии с предложением.

Первый этап на удивление прост: объем производства мощности от ВИЭ не оказывает заметного влияния на систему. Там, где ветряные или солнечные установки установлены в системе, намного большей, чем ВИЭ, вырабатываемая мощность (и ее колебания) останутся незамеченными.

На втором этапе влияние ВИЭ становится заметным, но, за счет совершенствования методов эксплуатации, объем ВИЭ может быть довольно легко интегрирован. Например, может потребоваться создать систему прогнозирования мощности ВИЭ, чтобы гибкие электростанции могли эффективно контролировать изменчивость ВИЭ и реагировать на спрос.

На третьем этапе возникает первая, значительная проблема. В двух словах, влияние изменчивости ВИЭ ощущается, как с точки зрения общей работы системы, так и другими электростанциями. На этом этапе гибкость энергосистемы становится важной.

Сегодня двумя основными ресурсами для увеличения гибкости системы являются диспетчерские электростанции и сеть передачи. В некоторых системах существующий гидроаккумулятор с перекачкой также может внести соответствующий вклад. Заглядывая в будущее, можно сказать, что более инновационные решения, такие как новые технологии хранения данных и крупномасштабная РСН (реакция на спрос), станут эффективными регуляторами гибкости.

Новые проблемы возникают и на четвертом этапе. Они очень техничны по своей природе и менее интуитивны, чем гибкость и связаны со стабильностью энергосистемы. Стабильность энергосистемы характеризует ее способность противостоять возмущениям в очень короткие сроки. Например, при выходе из строя более крупного генератора стабильная энергосистема будет видеть лишь небольшое отклонение от своих номинальных рабочих настроек. Напротив, в менее стабильных системах потеря большого блока может привести к ряду значительных воздействий, которые могут поставить под угрозу надежность и бесперебойность энергосистемы, и которые проявляются в течение нескольких секунд или меньше.

Момент, когда стабильность системы становится проблемой для интеграции ВИЭ, очень специфичен для системы и может зависеть от инженерных решений, которые были приняты много десятилетий назад. Поэтому не существует простого правила, позволяющего определить, когда возникнут проблемы со стабильностью. Энергосистема не будет резко переходить от одного этапа к другому.

Этапы носят концептуальный характер и предназначены просто для того, чтобы помочь расставить приоритеты задач. Например, проблемы, связанные с гибкостью, будут постепенно возникать на втором этапе, прежде чем станут отличительной чертой третьего этапа. Аналогичным образом, некоторые проблемы, связанные со стабильностью системы, возникнут уже на третьем этапе. Невозможно точно сказать при какой доле ВИЭ возникнет

проблема интеграции, например, в странах, находящихся в настоящее время на втором этапе развертывания, доля ВИЭ составляет от 3% до 13%. Обобщенные характеристики этапов представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Этапы внедрения ВИЭ

	свойства (возрастающие по мере прохождения этапов)			
	1 этап	2 этап	3 этап	4 этап
Характеристики системы	Объем мощности ВИЭ не имеет значение для основной системы	Мощность ВИЭ становиться заметной для системных операторов	Гибкость становиться актуальной при больших перепадах спроса и предложения	Стабильность становится актуальной. Мощность ВИЭ покрывает почти 100% спроса в определенное время
Воздействие на существующие генераторы	Нет отличия от обычной сетевой нагрузки	Нет значительного увеличения неопределенности и изменчивости сетевой нагрузки, но есть небольшие изменения в схемах работы существующих генераторов для приспособления к ВИЭ	Большое непостоянство в сети нагрузки. Главные различия в операционных схемах; сокращение электростанций, работающих непрерывно	Ни одна ЭС не работает круглосуточно; все электростанции корректируют мощность в соответствии с ВИЭ
Воздействие на энергосистему	Локальная система расположена вблизи точек подключения если таковые имеются	Очень вероятно влияние на условия местной электросети; возможны перегрузки при передаче, вызванные изменением потоков электроэнергии по сети	Значительные изменения в структуре энергопотока, обусловленные погодными условиями в разных местах; увеличенные двусторонние потоки между частями сети с высоким и низким напряжением	Потребность в усилении всей сети и улучшенная способность сети восстанавливаться после возмущений
Проблемы зависят от	Локальных условий в сети	Соответствие между спросом и производством ВИЭ	Наличие гибких ресурсов	Прочность системы для противостояния возмущениям

Причиной отставания России в области развития возобновляемой энергетики является многолетнее промедление в создании работающих систем стимулирования использования ВИЭ, в то время как в индустриальных зарубежных странах такое стимулирование стало одним из определяющих факторов инновационного развития. Отсутствие явной заинтересованности Правительства в создании отдельного направления возобновляемой энергетики снизило веру инвесторов в серьезность официальных намерений развивать технологии использования ВИЭ в России. Поставленные сейчас цели также уступают

масштабностью планам развития в других странах. При скептическом взгляде столь ограниченные перспективы могут создать впечатление чисто формального подхода, направленного на создание картины отчетности о наличии сферы «зелёной энергетики» в России.[5]

Россия только начинает свой путь внедрения ВИЭ в энергосистему страны. Но уже на этом этапе стоит предусмотреть меры для дальнейшего развития этой отрасли, чтобы снизить влияние проблем, возникающих при переходе на следующий этап. В 2021 году доля ВИЭ-генерации в общем объеме энергопотребления Единой энергетической системы России составила около 0,5%. Наиболее крупные СЭС в России это Аршанская СЭС мощностью 115,6 МВт (1-я и 2-я очереди), Перово мощностью 105,6 МВт, Охотниково мощностью 82,65 МВт, расположенные в Республике Крым, Старомарьевская СЭС (1-я и 2-я очереди), расположенная в Ставропольском крае, мощностью 100 МВт, Самарская СЭС, мощностью 75 Мвт, Фунтовская СЭС Астраханской области той же мощности. [6] В пятерке лидеров ВЭС расположились электростанции АО «НоваВинд» (Росатом) в Ставропольском крае, республике Адыгея и Ростовской области суммарной мощностью 600 МВт, а также Кольская ВЭС установленной мощностью 201 МВт в Мурманской области и введенная в эксплуатацию в этом году.[7]

В настоящий момент Россия находится на начальном этапе внедрения ВИЭ. Согласно поправкам, внесенным в Федеральный закон N 35-ФЗ, от 27 декабря 2019 года объектам микроэнергетики, принадлежащим частным и юридическим лица разрешено присоединение к централизованной электросети с возможностью выдачи избытков электроэнергии в сеть [8]. В районах с децентрализованным электроснабжением СЭС могут быть актуальны в качестве децентрализованных систем электроснабжения, а в качестве систем экономии электроэнергии в районах с наличием системы централизованного электроснабжения. В зависимости от цели установки СЭС подбирают наиболее подходящий тип электростанции. [9]

Выводы:

Предложено 4 этапа интеграции ВИЭ в энергосистему страны. Для оценки масштаба проблем интеграции определены основные структурные и технические факторы. Пользуясь ими, можно условно разделить путь развития ВИЭ на несколько этапов внедрения ВИЭ, а также определить текущий этап в той или иной стране или ее области. В России только начинается внедрение ВИЭ. Их доля только приближается к отметке в 1%. При грамотном подходе к внедрению ВИЭ в нашей стране возможно добиться стабильной совместной работы традиционных электростанций и электростанций, работающих от ВИЭ.

Учитывая опыт стран, которые ушли по доле «зеленой энергетики» далеко вперед, можно узнать об основных трудностях, которые могут возникнуть на каждом из этапов внедрения ВИЭ, а также предусмотреть снижение их влияния или полное его отсутствие. При желании внедрить электростанции ВИЭ, необходимо учитывать и заранее предусматривать пути повышения гибкости всей энергосистемы.

Список использованных источников:

1. «Red Eléctrica de España» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.a2365953-643fc346-22fa5c77-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/Red_Eléctrica_de_España (Дата обращения: 17.04.2023)

2. Энергоэкономические модели регионов и стран мира. Итоги 25-летнего

развития [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.eeseaec.org/energoekonomiceskaa-model-danii (Дата обращения: 17.04.2023)

3. Zaginaylov, V., Mamedov, T., Stushkina, N., Leshtayev, O., Rtishcheva, N. Improving reliability of power supply facilities in agro-industrial sector//E3S Web of Conferences, 2023, 371, 03041

4. Getting Wind and Sun onto the Grid. A Manual for Policy Makers/ IEA PUBLICATIONS, International Energy Agency//2017, 69 c.

5. Шклярук М.С. Возобновляемая энергетика: экономические инструменты поддержки и оценка их нормативно-правового закрепления / Шклярук М.С.// СПб, 2015, 46с.

6. Список солнечных электростанций [Электронный ресурс]. – Режим доступа:https://ru.wikipedia.org/wiki/Список_солнечных_электростанций_России (Дата обращения: 17.04.2023)

7. Список ветряных электростанций [Электронный ресурс]. – Режим доступа:https://ru.wikipedia.org/wiki/Список_ветряных_электростанций_России (Дата обращения: 17.04.2023)

8. Доклад о реализации Энергетической стратегии России на период до 2030 года по итогам 2018 года, 2018 – С. 57

9. Rtishcheva, N. E. Analysis of power supply options for a stable from a solar power plant/ N. E. Rtishcheva, O. V. Leshtaev , K. P. Rtishchev// IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 808 012013, 2021г.

Bibliography:

1. "Red electronics of Spain" [Electronic resource]. – Access mode: https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.a2365953-643fc346-22fa5c77-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/Red_Eléctrica_de_España (Accessed: 04/17/2023)Report on the implementation of Russia’s energy strategy for the period up to 2030 based on the results of 2018, 2018 – p. 57

2. Energy economic models of regions and countries of the world. Results of 25-year development [Electronic resource]. – Access mode: https://www.eeseaec.org/energoekonomiceskaa-model-danii (Accessed: 04/17/2023)

3. Zaginaylov, V., Mamedov, T., Stushkina, N., Leshtayev, O., Rtishcheva, N. Improving reliability of power supply facilities in agro-industrial sector//E3S Web of Conferences, 2023, 371, 03041

4. Getting Wind and Sun onto the Grid. A Manual for Policy Makers/ IEA PUBLICATIONS, International Energy Agency//2017, 69 c.

5. Shklyaruk M.S. Renewable energy sources: economic instruments of support and assessment of their regulatory and legal consolidation // Shklyaruk M.S.// SPb, 2015, 46c.

6. List of solar power plants [Electronic resource]. – Access mode: https://ru.wikipedia.org/wiki/List of solar power plants_(accessed 17.04.2023)

7. List of wind farms [Electronic resource]. – Access mode: https://ru.wikipedia.org/wiki/List of wind power plants in Russia (accessed 17.04.2023)

8. Report on the implementation of Russia's Energy Strategy for the period up to 2030 based on the results of 2018, 2018 – p. 57

9. Rtishcheva, N. E. Analysis of power supply options for a stable from a solar power plant/ N. E. Rtishcheva, O. V. Leshtaev, K. P. Rtishchev// IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 808 012013, 2021г

Владимир Ильич Загинайлов – доктор технических наук, профессор кафедры электроснабжения и электротехники имени академика И.А. Будзко РГАУ-МСХА имени К.А.Тимирязева. energo-viz@mail.ru
Белов Сергей Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения и электротехники имени академика И.А. Будзко РГАУ-МСХА имени К.А.Тимирязева. sbelov@rgau-msha.ru
Ртищева Надежда Евгеньевна, Ртищев Кирилл Петрович – студенты 1 курса магистратуры 1 курса направления подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника», РГАУ-МСХА имени К.А.Тимирязева.

STAGES OF INTEGRATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES INTO THE ENERGY SYSTEM

Rtishcheva N.E., Rtishchev K.P., Zaginailov V.I., Belov S.I.

RSAU – MTAA named after K.A. Timiryazev

Abstract. For several years, many European countries have been introducing renewable energy into the power supply system. Their experience can be useful to those who have just embarked on the path of alternative energy sources in the power supply system. The discussion of RES implementation still often suffers from misconceptions, which can contribute to the slow development of RES. The purpose of the work is to consider the stages of integration of renewable energy sources into the general energy system of the country. The methods of graphical representation of information, methods of statistical analysis, comparison and systematization of data, analysis of regulatory and technical documentation have been used to achieve the goal. The article proposes and describes 4 stages of RES implementation, based on the selected criteria for the distribution of the level of integration. Russia is just beginning its path of introducing renewable energy into the country's energy system. But already at this stage, it is worth considering measures for the further development of this industry in order to reduce the impact of problems arising during the transition to the next stage.

Keywords: Renewable energy sources, solar power plant, wind power plant, renewable energy integration, energy system

Vladimir Ilyich Zaginailov – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Russian State Agricultural Academy named after K.A.Timiryazev. energo-viz@mail.ru
Belov Sergey Ivanovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Russian State Agricultural Academy named after K.A.Timiryazev sbelov@rgau-msha.ru
Nadezhda Evgenievna Rtischeva, Kirill Petrovich Rtischev – 1st year students of the 1st year master's degree in the direction of training 13.04.02 "Electric power and electrical engineering", RGAU-MSHA named after K.A.Timiryazev.