

Перспективы возобновляемой энергетики в России

А. С. Шевцов¹, И. В. Проворная^{1,2}*

¹ Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск,
Российская Федерация

² Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, г. Новосибирск,
Российская Федерация

* e-mail: provornayaiv@gmail.com

Аннотация. На данный момент считается, что решить проблемы ограниченности ресурсов и выбросов парниковых газов смогут возобновляемые источники энергии, возможности и перспективы их использования - одна из важных и актуальных тем на сегодняшний день. Можно сказать, что на сегодняшний день человечество вступило в переходный период - от энергетики, базирующейся на органических природных ресурсах, которые ограничены к энергетике на практически неисчерпаемой основе. На сегодняшний день, все развитые страны, так или иначе, имеют планы перехода на ВИЭ. В России также создана комплексная программа проведения научно-исследовательских, опытно-конструкторских работ по использованию ВИЭ. Программой предусмотрен ряд организационных мероприятий по освоению промышленностью производства и широкомасштабного внедрения систем энергоснабжения, работающих на АИЭ.

Ключевые слова: ВИЭ, LCOE

Prospects of renewable energy in Russia

A. S. Shevtsov¹, I. V. Provornaya^{1,2}*

¹Novosibirsk State University, Novosibirsk, the Russian Federation

²Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation

* e-mail: provornayaiv@gmail.com

Abstract. At the moment, it is believed that renewable energy sources will be able to solve the problems of limited resources and greenhouse gas emissions, the opportunities and prospects for their use are one of the important and relevant topics today. We can say that today humanity has entered a transitional period - from energy based on organic natural resources, which are limited to energy on an almost inexhaustible basis. To date, all developed countries, one way or another, have plans to switch to AIE. Russia has also created a comprehensive program for conducting research and development work on the use of AIE. The program provides for a number of organizational measures for the industry to master production and large-scale implementation of energy supply systems operating on AIE.

Keywords: RES, LCOE

Введение

На сегодняшний день в мире есть две глобальные проблемы, которые взаимосвязаны, это истощение природных ресурсов и выбросы парниковых газов.

Каждый день в мире используется огромное количество нефти и газа для нужд человека, таким образом увеличиваются выбросы парниковых газов и исчерпываются запасы углеводородов. В связи с этим возникают вопросы. На

сколько нам хватит этих ресурсов, если продолжать их эксплуатировать в таком же объеме? Как уменьшить выбросы парниковых газов, при этом не навредив мировому энергетическому балансу.

На первый вопрос пытаются ответить многие аналитики. Согласно прогнозам нефтегазовой компании British Petroleum, классические топливно-энергетические ресурсы, при нынешних темпах развития нефтегазовой отрасли, закончатся в ближайшие 100-150 лет.

На данный момент считается, что решить проблемы ограниченности ресурсов и выбросов парниковых газов смогут альтернативные источники энергии, возможности и перспективы их использования - одна из важных и актуальных тем на сегодняшний день.

Можно сказать, что на сегодняшний день человечество вступило в переходный период - от энергетики, базирующейся на органических природных ресурсах, которые ограничены к энергетике на практически неисчерпаемой основе.

Цель работы: определить перспективы использования АИЭ на территории России.

Задачи:

1. Проанализировать метод LCOE.
2. Выявить и описать недостатки метода LCOE.
3. Предложить собственный метод расчета стоимости киловатта энергии.
4. Рассчитать стоимость киловатта энергии из возобновляемых источников собственным методом.

Методы и материалы

Нормированная стоимость электроэнергии. (Метод LCOE).

Нормированная стоимость электроэнергии (англ. Levelized Energy Cost (LEC), также англ. Levelised Cost of Energy (LCOE) [1]) — средняя расчётная себестоимость производства электроэнергии на протяжении всего жизненного цикла электростанции (включая все возможные инвестиции, затраты и доходы).

В единой формуле выглядит следующим образом [2]:

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{(It + Mt + Ft)}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{Et}{(1+r)^t}}$$

где LCOE - Средняя стоимость нормированного производства электроэнергии

It – Инвестиционные затраты в год t

Mt - Операционные затраты и затраты на содержание в год t

Ft - Затраты на топливо в год t

Et - Производство электроэнергии в год t

r - Ставка дисконтирования

n - Жизненный цикл системы

Обычно LCOE рассчитывается на протяжении проектного срока службы станции и выражается в валюте на единицу энергии, например, евро за киловатт-час или австралийский доллар за мегаватт-час [3].

LCOE не отражает стоимость электроэнергии для потребителя и является наиболее значимой с точки зрения инвестора. Следует проявлять осторожность при сравнении различных исследований LCOE и источников информации, поскольку LCOE для данного источника энергии сильно зависит от предположений, условий финансирования и анализируемого технологического развертывания.

Таким образом, ключевым требованием к анализу является четкое заявление о применимости анализа на основе обоснованных предположений. В частности, чтобы LCOE можно было использовать для ранжирования альтернатив производства энергии, необходимо соблюдать осторожность, чтобы рассчитать его в «реальном» выражении, то есть с учетом поправки на ожидаемую инфляцию.

Результаты

Критика метода LCOE при расчете стоимости ВИЭ. Метод LCOE оценивает среднюю стоимость выработки электроэнергии, включая в себя лишь некоторые локальные расходы на горизонте всего срока службы электростанций. Такой метод достаточно точно отображает приблизительную оценку мощности станций, которые работают на ископаемом топливе, потому что такие объекты работают стабильно, у них хорошо исследован коэффициент мощности, который варьируется в прогнозируемом диапазоне, они компактны и все потенциальные эксплуатационные расходы происходят исключительно на самих станциях. Из-за того, что технология генерации энергии из ископаемого топлива хорошо изучена и исследована на практике, никаких выбивающихся из формул аномалий и непрогнозируемых расходов с ними практически никогда не происходит. Но как известно возобновляемые источники энергии нельзя назвать достаточно стабильными и прогнозируемыми.

Обратимся к новому отчету Управления энергетической информации США за 2021 год, «Нормированные затраты на ресурсы нового поколения». В этом отчете используется метод LCOE для оценки стоимости энергии из всех источников.

Согласно данному отчету, установки комбинированного цикла имеют коэффициент мощности 87%, а геотермальные станции 90%. Такие показатели мощности означают, что данные типы производства энергии почти всегда способны выдавать пиковую выработку электроэнергии. Но в данном отчете мы видим, что коэффициент мощности для ветряных и солнечных станций: 30 и 41-45% соответственно. В данном отчете используются не реальные показатели мощности, а теоретически-максимальные. Данный момент в отчете объясняется следующим образом: “Предполагается, что фотоэлектрическая система оснащена одноосным системой отслеживания. Гибридная солнечная система представляет собой одноосную фотоэлектрическую систему с четырехчасовой аккумуляторной системой хранения”.

На практике редко можно столкнуться с одноосными системами отслеживания, так как такие системы сложны и дороги в эксплуатации. Суть таких систем

в том, что они должны двигать каждую солнечную панель с постоянной скоростью в течение дня, для того чтобы панели всегда были направлены в солнечную сторону, а затем панели должны быть направлены в исходное положение, в следствии этого, каждая панель должна быть оснащена датчиком времени, двигателем, рычагами, подшипниками и т.д. Такие механизмы являются крайне дорогими в установке, эксплуатации и обслуживании, также они подвержены рискам поломки из-за погодных условий. Поэтому практически все солнечные панели сегодня зафиксированы под определенным неизменным углом с помощью ветрозащитной рамы. Для примера на крупной ферме «Topaz Solar Farm», которая состоит из 9 миллионов панелей фиксированные системы на ветрозащитной раме являются стандартом.

Также следует заметить, что в данном коэффициенте мощности не учитываются многие погодные условия, такие как облачность и зимние погодные условия, во время отсутствия солнца панели не вырабатывают нужное количество энергии, а в зимний период солнечные панели заматывает снегом, и они не вырабатывают энергию, согласно методу LCOE, панели всегда находятся в заданных условиях, что на практике не совсем так.

Для того чтобы понять какие коэффициенты мощности установок, работающих на возобновляемых источниках энергии, обратимся к ресурсу Our World in Data, который фиксирует и аккумулирует мировые данные.

Из мировых данных можно увидеть, что заявленные данные о коэффициенте мощности в 30% для солнечных панелей на практике в два раза меньше и составляет 14%. То же самое можно и отнести к станциям работающим на ветровых установках, в отчете было заявлено о 41-45%, но практические данные говорят о 26%.

На основе данных заявленных в отчете управления энергетической информации США за 2021 год, стоимость следующая:

- Комбинированные установки: 3.45 цента за кВт*ч.
- Солнечная энергия: 2.90 цента за кВт*ч.
- Наземная ветряная энергия: 3.15 цента за кВт*ч.

Если учесть фактические коэффициенты мощности, стоимость электроэнергии составит:

- Комбинированные установки: 3.45 цента за кВт*ч.
- Солнечная энергия: 6.21 цента за кВт*ч.
- Наземная ветряная энергия: 4.97 цента за кВт*ч.

Приблизительно в два раза цена на электроэнергию становится дороже. Если рассмотреть морские ветряные турбины, то цены будут еще дороже, в отчете управления энергетической информации США заявляется цена на уровне 4 цента за кВт*ч, но данная энергия продается потребителям по цене 13 центов за кВт*ч, но и данная цена не является фиксированной и финальной. Например, новейшая морская ветряная станция на острове Блок в США взимает плату за энергию не с домашних хозяйств, а с коммунальных служб и ее тарифная стоимость составляет 24 цента за кВт*ч, что в свою очередь в 6 раз дороже чем в среднем

на рынке электроэнергии США, но в данную стоимость не входят дополнительные расходы на обслуживание и утилизацию турбин.

Также стоит отметить такой пункт, как требуемая резервная мощность. При внедрении в энергосистему 1 гигавайт энергии из возобновляемых источников энергии, то в систему нужно также добавить гигавайт энергии из надежных и прогнозируемых источников энергии, которая в экстренных случаях сможет перекрыть потери от недостающей генерации энергии. Например, зимой из-за снега солнечные панели могут быть завалены и солнечных дней может быть недостаточно, такой фактор требует станции с аналогичной мощностью. Также стоит отметить, что затраты на строительство и обслуживание станции на ископаемых источниках энергии не становится дешевле, штат сотрудников на подобной станции не будет меньше, обслуживание станции также не сократится, уменьшится только поставка топлива. Стоимость этих типов энергии суммируется, а не заменяется один на другой. В документе EIA США упоминается о важности строительства резервных мощностей, но их стоимость не учитывается: «Поскольку нагрузка должна быть всегда сбалансирована, генерирующие блоки с возможностью изменения выходной генерируемой мощности в соответствии с потребностями [диспетчеризация] обычно имеют большую ценность для энергосистемы, чем менее гибкие блоки, которые используют для работы неуправляемые ресурсы». Например, Австралия уже озадачилась вопросом резервной энергии, было решено ввести субсидии для угольных и газовых электростанций, для покрытия дефицита и перебоев в работе электростанций, работающих на возобновляемой энергии, по данным такие перебои происходят каждые 4 дня.

Стоимость перехода США на возобновляемые источники энергии составляет 4,5 триллиона долларов на момент 2019 год включая отказ от атомных станций, так оценивает переход Йельский университет. Однако, Юридический институт Энергетики и Окружающей среды опубликовал отчет о капитальных затратах, связанных с полной зеленой электрофикацией США, согласно данному отчету полный переход страны на возобновляемые источники энергии потребует 29 триллионов долларов США только первоначальных затрат, в эту сумму не входят затраты на внедрение и использование резервных мощностей, аккумуляторы для хранения и без учета последующего обслуживания. Таким образом, даже оптимистичный сценарий развития в 8 раз дороже тех, что упоминаются в отчетах.

Настолько высокие оценки стоимости внедрения возобновляемых источников энергии появляются из-за того, что метод LCOE не учитывает перепады мощности установок, стоимость строительства резервных мощностей и их эксплуатацию. Также стоит отметить, что в отчетах упомянутых выше зачастую используется теоретически максимальная мощность, а не реальная из-за чего стоимость на практике оказывается дороже в несколько раз.

Подытоживая все выше сказанное, стоит отметить, что цена стоимости киловатта оцениваемая с помощью метода LCOE является по сути ценой, которая будет возможна при самом позитивном сценарии.

Перерасчет стоимости электроэнергии, генерирующейся из возобновляемых источников энергии

Первые издержки: покупка и установка ветряной турбины.

Средняя стоимости ветряной установки в США на 2021 год складывается из следующей формулы: 1,3 млн долл. за 1 МВт. Из этого следует, что одна из наиболее распространенных турбин на 2,5 МВт должна стоить около 3, млн долл. На практике диапазон цен на ветряные установки мощностью в 2,5 МВт колеблется в диапазоне \$2,6 – \$4 млн долл. за коммерческую ветряную турбину.

За базу возьмем цену: 4 млн долл. за ветряную турбину мощностью 2,5 МВт.

Далее, изучим расчеты на прибыль, которые считаются, как 2 цента за кВт*ч, против энергии из ископаемых источников энергии стоимостью 0.0345 цента кВт*ч у парогазовых/угольных комбинированных установок. Данные взяты из статьи Dan Blewett “Wind Turbine Cost: How Much? Are They Worth It In 2022?”.

2 цента/кВт при мощности в 35% дадут доход с каждой турбины в \$153.300/год. Но по глобальным данным Our World in Data, реальный средний коэффициент мощности ветра составляет 26%. При пересчете с новыми значениями мощности мы получаем \$114.000/год. Ветряные установки работают 20 лет, затем они утилизируются, таким образом доход ветряной установки за 20 лет составит \$2.280.000.

Но, стоит отметить, что со временем коэффициент мощности турбины снижается. Исследование, проведенное по заказу фонда возобновляемых источников энергии, привело к следующим результатам новые ветряные турбины Великобритании [использовавшиеся менее года] имеют коэффициент мощности 24%, однако к 10-летнему возрасту он снижается до 15%, а к 15-летнему возрасту — до 11%. Такая же ситуация характерна и для морских ветряных турбин в Дании их мощность падает с 39% в новом состоянии до 15% спустя 10 лет работы. Наземные датские турбины чуть лучше — мощность падает с 22% до 19% спустя 15 лет. Данные взяты из исследования Gordon Hughes «The Performance of Wind Farms in the United Kingdom and Denmark».

Учитывая эти данные, средний коэффициент мощности за жизнь ветряной турбины 19-20%. Мировые данные с 26% мощности - это данные, включающие массовое введение новых турбин, из-за чего этот показатель немного завышен и не может применяться к [конкретно взятой] турбине/станции.

Таким образом, доход при мощности 26%, дающий \$114.000/год или \$2.280.000 за 20 лет превращается в доход \$85.000/год или \$1.700.000 за 20 лет работы при мощности в 19.5%.

Также следует учесть обслуживание, оно требуется каждой турбине. В обязательные расходы обслуживания турбин входят: страхование, аренда земли, сервисное обслуживание, ремонт турбин [ломаются они около 8 раз в год], замена лопастей, административные задачи, затраты на транспорт и электроэнергию. Приблизительно, эти расходы составляют 42000 – 48000 долларов в год, данные взяты из СМИ-источников. Стоит заметить, что эта стоимость касается каждого МВт, чем мощнее турбина, тем дороже она в обслуживании. Также стоит отметить, что данные о затратах вероятно касаются только постоянных затрат

и не учитывают переменные, поэтому обратимся к отчету Международного агентства по возобновляемым источникам энергии, IRENA. Согласно данному отчету, постоянная и переменная средняя стоимость обслуживания ветряков составляет от \$35.000/год/МВт для Финляндии до \$64.000/год для Германии, до \$87.600 для США и до \$376.680 для Швейцарии. Возьмем среднюю стоимость затрат на обслуживание 75000 долларов в год за МВт, таким образом для установки мощность 2,5 МВт издержки будут составлять 187500 долларов в год.

Вычтем данную сумму из годового дохода от продажи энергии, который без учета затрат составлял 85000 долларов, доход становится убытком в 102500 долларов или 2050000 миллиона долларов чистого убытка за 20 лет работы ветряных мощностей.

Также стоит учесть расходы на утилизацию ветряных турбин. по документам Palmer's Creek Wind, владеющей объектом из 18 ветряных турбин, расходы на утилизацию по 410.000 долларов каждую из турбин. Источник: Palmer's Creek Wind Farm Site Permit Application Chippewa County, Minnesota. По коммунальным документам Xcel Energy для станции Nobles Wind, Штат Мичиган, вывод из эксплуатации объекта из 134 турбин будет стоить 71 миллион долларов в долларах 2009 года. Это \$445.000 в долларах того времени или \$532.000 за каждую турбину в долларах 2019 года. Возьмем 400.000 долларов как базовую стоимость утилизации ветряной установки. Вычитаем эту сумму из доходов и получаем 20-летний убыток -\$2.350.000.

Заключение

Таким образом, при первоначальных инвестициях в 4 миллиона долларов мы получаем убыток порядка 2,35 миллиона долларов, для того чтобы выйти в точку безубыточности нужно повышать цена электроэнергии. Для выхода в точку безубыточности и покрытия убытка в размере 6,35 миллионов долларов нужно увеличить стоимость электроэнергии на 7,5 центов, до уровня 0,095 долларов за кВт*ч, но к этой стоимости также нужно добавить дополнительную наценку для извлечения прибыли. Но даже при нулевой прибыли полученная стоимость в 3 раза превышает стоимость энергии, полученной из традиционных источников.

Благодарности

Настоящее исследование выполнено при финансовой поддержке стипендии Президента РФ № СП-3030.2022.1

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Levelized Cost of Energy Calculator [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.nrel.gov/analysis/tech-lcoe.html>, свободный. – (дата обращения: 01.04.22).
2. Projected Costs of Generating Electricity (2005 Update) [Электронный ресурс] Режим доступа: https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_14002/projected-costs-of-generating-electricity-2005-update, свободный. – (дата обращения: 12.09.16).
3. Branker K., Pathak M. J.M., Pearce J. M. A Review of Solar Photovoltaic Levelized Cost of Electricity // Renewable & Sustainable Energy Reviews – 2011. – №15. – P.4470-4482

© А. С. Шевцов, И. В. Проворная, 2022